



TUGAS AKHIR – TL 141584

PENGARUH DOPING MnO_2 DAN TEMPERATUR SINTERING TERHADAP SIFAT FERROELEKTRIK DAN MAGNETIK PbTiO_3 DENGAN METODE *MECHANICAL ALLOYING*

RIZKA ANDANI
NRP 2711 100 045

Dosen Pembimbing :
Rindang Fajarin, S.Si, M.Si.
Hariyati Purwaningsih S.Si, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL 141584

EFFECTS OF MnO_2 DOPING AND SINTERING TEMPERATURES ON THE FERROELECTRIC AND FERROMAGNETIC PROPERTIES IN THE FORMING OF PbTiO_3 USING *MECHANICAL ALLOYING* METHOD

**RIZKA ANDANI
NRP 2711 100 045**

**Advisor :
Rindang Fajarin, S.Si, M.Si.
Hariyati Purwaningsih S.Si, M.Sc.**

**DEPARTMENT OF MATERIALS AND METALLURGICALS
ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2015**

(Halaman ini sengaja dikongsongkan)

**PENGARUH DOPING MnO_2 DAN TEMPERATUR
SINTERING TERHADAP SIFAT FERROELEKTRIK DAN
MAGNETIK PbTiO_3 DENGAN METODE *MECHANICAL
ALLOYING***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

RIZKA ANDANI

NRP. 2711 100 045

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Rindang Fajarin, S.T., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing)
2. Hariyati Purwardaningih, S.Si., M.Sc., Ph.D. (Co-Pembimbing)



**Surabaya
Juli 2015**

**PENGARUH DOPING MnO_2 DAN TEMPERATUR
SINTERING TERHADAP SIFAT FERROELEKTRIK
DAN MAGNETIK PbTiO_3 DENGAN METODE
*MECHANICAL ALLOYING***

Nama : Rizka Andani
NRP : 2711100045
Jurusan : Teknik material dan metalurgi
Dosen pembimbing : Rindang Fajarin S.Si, M.Si
Hariyati Purwaningsih S.Si, M.Sc.

Abstrak

Material multiferroik magnetoelektrik adalah material yang mempunyai sifat ferromagnetik dan ferroelektrik pada satu material. Pada material multiferroik ini terjadi magnetisasi spontan saat didekatkan pada medan magnet dan polarisasi spontan yang terjadi jika didekatkan pada medan listrik. Salah satu cara mendapatkan material multiferroik ini adalah dengan menambahkan logam transisi 3d pada material ferroelektrik dengan struktur perovskite. Pada penelitian ini dibentuk multiferroik PbTiO_3 dengan variasi penambahan MnO_2 dan temperatur sintering dengan metode mechanical alloying. Serbuk PbO dan TiO_2 dimilling selama 2 jam lalu dikompaksi dan disintering dengan temperatur 1000 selama 2 jam. Sampel PbTiO_3 dihaluskan kemudian dicampur dengan MnO_2 dengan variasi doping 0.1, 0.15, dan 0.2 mol. Material dimilling selama 2 jam lalu dikompaksi dan disintering dengan variasi temperatur 800 °C 900 °C, dan 1100 °C selama 5 jam. Hasil sintesis dikarakterisasi dengan SEM, XRD, polarisasi meter, dan uji suseptibilitas magnet. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, telah terbentuk PbTiO_3 dengan sifat ferroelektrik dan paramagnetik.

Kata kunci: *doping Mn multiferroik, mechanical alloying, sintering*

(Halaman ini sengaja dikongsongkan)

EFFECTS OF Mn DOPING AND SINTERING TEMPERATURES ON THE FERROELECTRIC AND FERROMAGNETIC PROPERTIES IN THE FORMING OF PbTiO₃ USING *MECHANICAL ALLOYING* METHOD

Name : Rizka Andani
NRP : 2711100045
Department : Material and Metallurgical Engineering
Supervisor : Rindang Fajarin S.Si, M.Si
Hariyati Purwaningsih S.Si, M.Sc.

Abstract

Multiferroic magnetoelectric materials are materials which own ferromagnetic and ferroelectric properties in one. On this multiferroic, spontaneous magnetization occurs when put close to magnetic field and spontaneous polarization occurs when located close to electric field. One way to obtain this multiferroic material is by adding transition metals of 3d group into ferroelectric material with perovskite structures. In this research, multiferroic PbTiO₃ is going to be formed with various addition of MnO₂ and various sintering temperatures using mechanical alloying method. PbO, TiO₂, and MnO₂ powders will be milled for 2 hours with various MnO₂ doping of 0.1, 0.15, and 0.2 mol. Then, calcination is going to be done to remove impurities for 4 hours at 800 °C, formed into pellets, and sintered for 5 hours at varying temperature of 800 °C, 900 °C, and 1100 °C. Pellets then analyzed by SEM, XRD, polarisasi meter, and magnetic susceptibility. Based on the analyzing, it is formed PbTiO₃ that has ferroelectric and paramagnetic properties.

Keywords: doping Mn, multiferroic, mechanical alloying, sintering.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas limpahan rahmat dan karunia Allah SWT, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul : **Pengaruh Doping MnO_2 dan Temperatur Sintering terhadap Sifat Ferroelektrik dan Magnetik PbTiO_3 dengan Metode *Mechanical Alloying*.**

Pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Murtoyo, Ibu Sri Retno Wati, Mbak Dara, dan Mas Arih atas semua dukungan moril dan materiil yang selalu dicurahkan.
2. Dr. Sungging Pintowantoro, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
3. Ibu Rindang Fajarin S.Si., M.Si. dan Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing dan co-pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan banyak waktunya untuk membimbing penulis dan mengajarkan banyak ilmu yang sangat bermanfaat.
4. Ibu Yuli Setyorini, ST, M.Phil, Bapak Dr. Agung Purniawan, selaku penguji sidang Tugas Akhir yang sudah memberikan waktu dan ilmunya kepada penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Venorita P, Reny H W, dan Jennis F untuk kerja samanya selama penyusunan laporan ini.
6. Teman-teman “MT 13” dan “ACOUSTIC STETSA” yang memotivasi penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis menyadari adanya keterbatasan di dalam penulisan laporan ini. Besar harapan penulis akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Amin.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Karakteristik PbO.....	5
2.2. Karakteristik TiO ₂	6
2.3. Karakteristik PbTiO ₃	7
2.4. Karakteristik MnO ₂	8
2.5. Karakteristik PbMn _x Ti _{1-x} O ₃	9
2.6. Mechanical Alloying.....	9
2.7. Proses <i>Mechanical Alloying</i>	10
2.8. Sintering	12
2.9. Ferroelektrik.....	14
2.10. Sifat magnetik material	16
2.10.1. Diamagnetik.....	17
2.10.2. Paramagnetik	17
2.10.3. Ferromagnetik.....	19
2.10.4. Magnet Lunak.....	19
2.10.5. Magnet Keras.....	20
2.11. Penelitian Sebelumnya	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bahan Penelitian	23

3.2. Alat Penelitian.....	23
3.3. Diagram Alir Penelitian	25
3.4. Prosedur Penelitian.....	21
3.4.1. Preparasi Sampel.....	27
3.4.2. Proses <i>Mechanical alloying</i>	27
3.4.3. Kompaksi	27
3.4.4. Sintering.....	28
3.4.5. Karakterisasi	28
 BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1. Analisa XRD.....	33
4.2. Analisa Hasil SEM.....	40
4.3. Analisa Sifat Ferroelektrik	43
4.3.1. Analisa Sifat Ferroelektrik berdasarkan Variasi Komposisi Doping MnO ₂	44
4.3.2. Pengaruh Variasi Temperatur Sintering terhadap Sifat Ferroelektrik	46
4.4. Analisa Sifat Magnetik	47
4.4.1. Pengaruh Komposisi Doping MnO ₂ terhadap nilai Suseptibilitas Magnetik.....	47
4.4.2. Pengaruh Temperatur Sintering MnO ₂ terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik.....	49
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan.....	53
5.2. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fasa α -PbO dan β -PbO	5
Gambar 2.2 Struktur Perovskit PbTiO ₃	7
Gambar 2.3 Diagram fasa PbO – TiO ₂	8
Gambar 2.4 Struktur kristal MnO ₂	9
Gambar 2.5 Pergerakan bola saat grinding bowl berputar ..	10
Gambar 2.6 Mekanisme terjadinya tumbukan (Suryanarayana, 2001)	11
Gambar 2.7 Perubahan Mikrostruktur sesuai waktu milling	11
Gambar 2.8 Tahapan pada proses sintering.....	13
Gambar 2.9 Pergerakan porositas pada saat sintering	14
Gambar 2.10. Kurva histeresis	15
Gambar 2.11. Arah domain-domain dalam bahan paramagnetik sebelum diberi medanmagnet.....	18
Gambar 2.12. Arah domain dalam bahan paramagnetik setelah diberi medan magnet luar.....	18
Gambar 2.13 Kurva histerisis magnet lunak	20
Gambar 2.14. Kurva histerisis magnet keras	21
Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Diagram alir Penelitian PbTiO ₃ doping MnO ₂	26
Gambar 3.3 Mesin XRD.....	28
Gambar 3.4 Alat SEM.....	31
Gambar 3.5 Rangkaian satu set elektrik	32
Gambar 3.6. Alat Suseptometer.....	33
Gambar 4.1. Analisa Pengujian XRD PbTiO ₃	35
Gambar 4.2. Hasil Pengujian XRD pada Sampel dengan Variasi Doping MnO ₂ (a) 0,1 mol, (b) 0,15 mol, (c) 0,2 mol pada Temperatur Sintering (1) 800 °C, (2) 900°C, dan (3) 1100°C.....	37

Gambar 4.3. Hasil Pengujian SEM pada temperatur 900 ⁰ C dengan komposisi doping (a) 0,1; (b) 0,15; (c) 0,2 mol MnO ₂ perbesaran 15000x	40
Gambar 4.4. Hasil Pengujian SEM-EDX untuk PbTiO ₃ didoping (a) tanpa doping (b) 0,1 (c) 0,15 (d) 0,2 mol 900 ⁰ C	42
Gambar 4.5. Perubahan nilai Polarisasi remanen terhadap variasi doping MnO ₂	44
Gambar 4.6. Perubahan nilai polarisasi remanen dan medan koersif terhadap variasi temperatur sintering.....	46
Gambar 4.7. Perubahan nilai suseptibilitas magnetik terhadap variasi komposisi doping MnO ₂	48
Gambar 4.8. Perubahan nilai suseptibilitas magnetik terhadap variasi temperatur sintering.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik PbO	5
Tabel 2.2 Karakteristik TiO ₂ <i>anatase</i> dan <i>rutile</i>	6
Tabel 2.3 Proses <i>Control Agent</i>	12
Tabel 3.1. Informasi yang Terkandung Dalam Karakter Tinggi, Posisi Serta Lebar dan Bentuk Puncak Difraksi	30
Tabel 4.1. Perhitungan Posisi 2 θ dan <i>d-spacing</i> PbTiO ₃ dengan Variasi Temperatur Sintering	38
Tabel 4.2. Unsur pada PbTiO ₃ doping MnO ₂ dengan variasi doping pada temperatur 900°C	43

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Material multiferroik atau disebut juga material magnetoelektrik, disebut demikian karena mempunyai sifat ferromagnetik dan ferroelektrik pada satu material. Pada material multiferroik ini terjadi magnetisasi spontan saat didekatkan pada medan magnet dan polarisasi spontan yang terjadi jika didekatkan pada medan listrik (Nicola A, 2000). Salah satu cara mendapatkan material multiferroik ini adalah dengan menambahkan logam transisi 3d pada material ferroelektrik dengan struktur perovskite (Smolenskii G, 1964).

PbTiO_3 merupakan material dengan struktur perovskite yang penggunaannya cukup luas dibandingkan dengan $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$ (PZT) atau BaTiO_3 dikarenakan temperatur Curie nya yang tinggi dan memiliki konstanta dielektrik yang rendah. Namun PbTiO_3 tidak stabil pada temperatur ruangan, sehingga perlu adanya penambahan unsur lain untuk meningkatkan sifat yang diinginkan. Salah satu contoh doping yang dapat ditambahkan dalam PbTiO_3 adalah Mn^{4+} . Material multiferroik ini mempunyai banyak aplikasi *novel memory device*, dioda optik, *wave modulator*, dan lain lain.

Sampai saat ini, telah dilakukan beberapa metode untuk mendoping Mn^{4+} pada PbTiO_3 antara lain dengan metode kopresipitasi, solid solution, dan masih banyak lainnya. Salah satu metode yang dilakukan untuk mendapatkan reaksi antar butir dengan memberikan energi panas. Pemberian energi panas untuk menjadikan butiran-butiran pada TiO_2 , PbO , dan MnO_2 berinteraksi, dapat dilakukan dengan pemberian energi minimum.



Energi tersebut didapat dari pemberian energi kinetik (gaya gesek) melalui metode *Powder Metallurgy* dengan berbahan serbuk TiO_2 , PbO , dan MnO_2 yang dipadukan secara mekanik dengan proses *Mechanical Alloying*.

Penelitian ini bertujuan untuk membentuk senyawa $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ dengan metode mechanical alloying dengan variasi penambahan MnO_2 dan temperatur sintering.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang diteliti dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh komposisi MnO_2 terhadap pembentukan senyawa PbTiO_3 doping MnO_2 ?
2. Bagaimana pengaruh temperatur sintering terhadap sifat listrik dan kemagnetan pada senyawa PbTiO_3 doping MnO_2 ?

I.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Ukuran serbuk dianggap homogen
2. Kecepatan *miling* konstan
3. Ball to powder weight ratio (BPR) konstan
4. Unsur-unsur pengotor pada serbuk dianggap tidak ada

I.4 Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisis pengaruh komposisi MnO_2 terhadap pembentukan PbTiO_3 doping MnO_2
2. Menganalisis pengaruh temperatur sintering terhadap sifat listrik dan kemagnetan pada PbTiO_3 doping MnO_2



I.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui pengaruh komposisi MnO_2 terhadap pembentukan senyawa PbTiO_3 doping MnO_2 serta adanya pengaruh dari temperatur sintering terhadap sifat listrik dan kemagnetan pada senyawa PbTiO_3 doping MnO_2 sehingga bisa bermanfaat untuk pengaplikasian kedepannya.



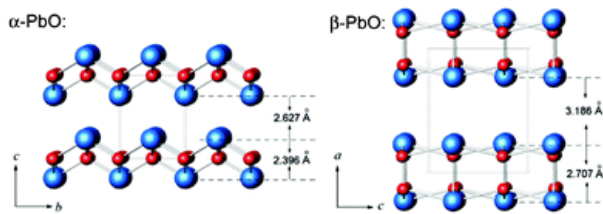
(Halaman ini sengaja dikongsongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Karakteristik PbO

Lead Oxide (PbO) adalah material yang sangat penting dalam dunia industri. PbO sudah banyak diaplikasikan dalam pembuatan baterai, sensor gas, pewarna, dan cat. Secara umum oksida timbal terdiri atas PbO, Pb₂O₃, PbO₂, dan Pb₃O₄. PbO mempunyai 2 fasa, yang pertama α -PbO merah, fasa ini stabil pada temperatur rendah dan fasa yang kedua adalah fasa β -PbO kuning yang stabil pada temperatur tinggi. (zhang, 2005) Transisi fasa dari α -PbO menjadi β -PbO terjadi pada 763° K. Selain itu β -PbO dapat ada pada temperatur ruangan. (Lei Li, 2012)



Gambar 2.1 Fasa α -PbO dan β -PbO

Tabel 2.1 Karakteristik PbO

Properties	
Molecular formula	PbO
Molar mass	223.20 g/mol
Appearance	red or yellow powder
Density	9.53 g/cm ³
Melting point	888 °C (1,630 °F; 1,161 K)
Boiling point	1,477 °C (2,691 °F; 1,750 K)
Solubility in water	0.00504 g/100 mL (alpha form) 0.01065 g/100 mL (beta form)



2.2. Karakteristik TiO_2

Titanium oksida (TiO_2) memiliki beberapa jenis fasa kristalin yang bergantung pada temperatur dan tekanan lingkungannya, sehingga disebut juga *polymorph*. Fasa fasa tersebut antara lain yaitu *anatase*, *rutile*, dan *brookite*. Massa jenis *anatase*, *brookite*, dan *rutile* berturut-turut adalah 3,90; 4,13; dan 4,27 g/cm^3 . (Ji-Guangdan,2004). Berbeda dengan struktur *anatase* dan *rutile*, struktur kristal *brookite* sulit untuk dipreparasi sehingga biasanya hanya struktur kristal *anatase* dan *rutile* yang umum digunakan. *Brookite* sulit dan jarang sekali dijumpai karena merupakan fase yang hanya hadir jika disintesis dengan tekanan tinggi (Ji-Guangdan,2004).

TiO_2 merupakan senyawa yang tidak mudah bereaksi kimia (inert) dan senyawa ini mempunyai titik leleh yang tinggi sekitar 1825 . Senyawa ini tahan akan korosi akibat garam mineral sehingga dengan sifatnya ini tidak beracun bagi tubuh manusia. Sehingga banyak diaplikasikan untuk kosmetik, pigmen dalam cat berwarna menggantikan timbal yang beracun bagi tubuh manusia. (Juandika, 2009)

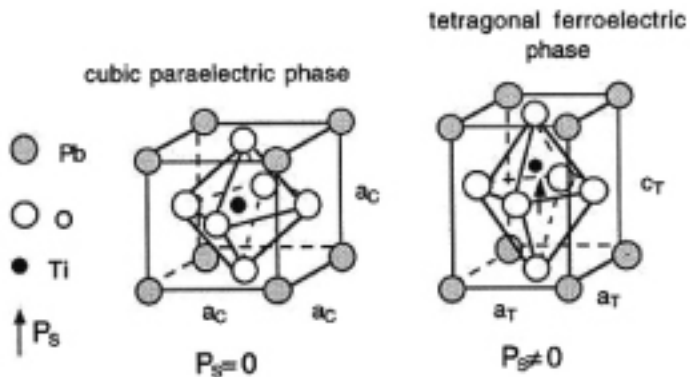
Tabel 2.2 Karakteristik TiO_2 *anatase* dan *rutile* (Vinky,2006)

Karakteristik	Anatase	Rutile
Temperatur Sintesis ($^{\circ}\text{C}$)	100-700	700-1000
Struktur Kristal	Tetragonal	Tetragonal
Konstanta Kisi a (\AA)	3,7852	4,5933
Konstanta Kisi c (\AA)	9,5139	2,9592
Indeks Bias	2,52	2,809
Kekerasan (VHN)	5,5-6,0	6,0-6,5
Titik Leleh ($^{\circ}\text{C}$)	915	1825



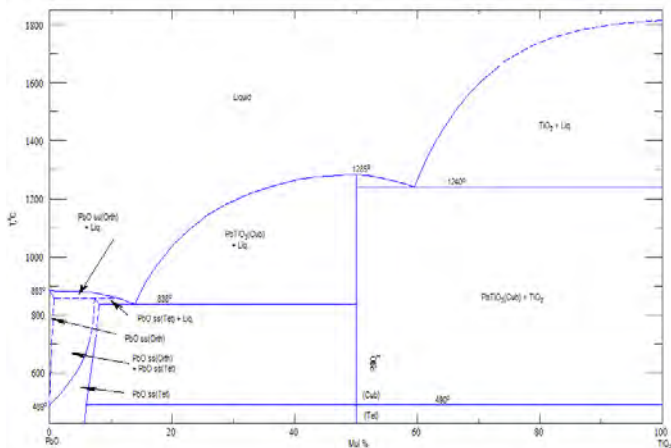
2.3. Karakteristik PbTiO_3

Struktur Kristal senyawa PbTiO_3 merupakan bagian dari senyawa ABO_3 yaitu struktur Kristal kubik perovskite. Perovskite merupakan oksida logam yang memiliki struktur umum ABO_3 , dimana A adalah ion-ion logam blok s, d, atau f yang berukuran lebih besar sedangkan B merupakan ion-ion logam transisi (Tien-Thao et al., 2008)



Gambar 2.2 Struktur Perovskit PbTiO_3 (L.B. Kong , 2008)

PbTiO_3 adalah perovskit feroelektrik yang memiliki temperatur *curie* yang tinggi pada 490°C . Senyawa PbTiO_3 memiliki banyak sifat ferroelectrical dan piezoelektrik yang dibutuhkan dalam aplikasi teknologi dalam mikroelektronika, karena sifat polarisasi yang dimiliki. Pada aplikasinya PbTiO_3 banyak digunakan dalam multilayer, aktuator dan sensor kapasitor.



Gambar 2.3 Diagram fasa PbO – TiO₂

2.4. Karakteristik MnO₂

Logam mangan berwarna putih keabu-abuan. Mangan termasuk logam berat dan sangat rapuh tetapi mudah teroksidasi. Sebagai salah satu logam oksida, mangan merupakan salah satu dari material anorganik yang sangat menarik karena sifat fisik, kimia, dan tentu saja aplikasinya yang sangat luas sebagai katalis, *ion exchange*, biosensor, dan *energy storage*.

Logam dan ion mangan bersifat paramagnetic. Hal ini dapat dilihat dari orbital d yang terisi penuh pada konfigurasi electron. Mangan mempunyai isotop stabil yaitu ⁵⁵Mn. Dalam suasana asam ion Mn³⁺ bersifat tidak stabil, mudah mengalami auto redoks, atau disproporsionasi, artinya mengalami oksidasi (menjadi MnO₂).

Mangan (IV) oksida adalah senyawa anorganik dengan rumus MnO₂. Struktur kristal yang dimiliki MnO₂ adalah struktur kristal rutil (β-MnO₂), dengan tiga koordinat oksida dan octahedral metal centres.



Gambar 2.4 Struktur kristal MnO_2

2.5. Karakteristik $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$

Material PbTiO_3 didoping salah satu logam transisi, yaitu MnO_2 akan menghasilkan $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$. $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ merupakan material multiferroik, yaitu material yang mempunyai sifat ferromagnetik dan ferroelektrik pada saat yang bersamaan. Sifat kemagnetannya akan meningkat, begitu juga dengan parameter kisi a meningkat, dan parameter kisi c menurun dengan peningkatan konsentrasi Mn. Beberapa aplikasi dari $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ antara lain sensor, mikroelektronik, sistem magnetik penyimpanan (RAM) (Manoj K, 2007)

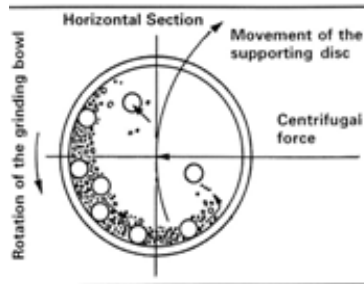
2.6. *Mechanical alloying*

Mechanical alloying adalah proses yang digunakan untuk memperkecil ukuran serbuk, dan digunakan untuk pencampuran (*alloying*) dari dua serbuk material yang berbeda yang bertujuan untuk mereduksi ukuran partikel serta meningkatkan *homogeneity*. Variable yang harus di pertimbangkan yaitu jenis *milling*, wadah, kecepatan, waktu, tipe dan ukuran bola *milling*, kondisi atmosfer, temperatur, dan *proses control agent* (*process control agent*). (Suryanarayana, 2001)



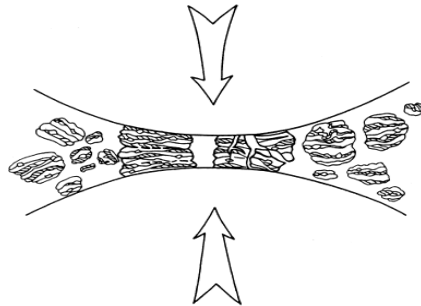
2.7. Proses *Mechanical alloying*

Saat *mechanical alloying* atau *mechanical milling*, serbuk dicampur dalam suatu *chamber* (ruangan) dan dikenai energi agar terjadi deformasi yang berulang-ulang sehingga terbentuk partikel-partikel yang lebih kecil dari sebelumnya. Tumbukan pada tiap tipe dari unsur partikel serbuk akan menghasilkan bentuk yang berbeda, untuk bahan yang ulet sebelum terjadi *fracture* akan menjadi *flat* atau pipih terlebih dahulu, sedangkan untuk bahan yang getas akan langsung terjadi *fracture* dan menjadi partikel serbuk yang lebih kecil.



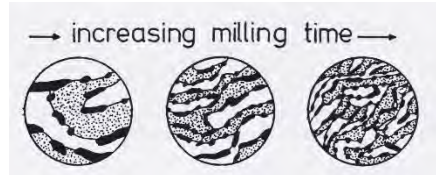
Gambar 2.5 Pergerakan bola saat grinding bowl berputar (Suryanarayana, 2001)

Saat dua bola bertumbukan ada serbuk yang terjebak di antara kedua bola tersebut dan terdeformasi sehingga ukurannya menjadi lebih kecil, hal tersebut terjadi berulang ulang, ilustrasinya dilihat pada Gambar 2.4 dibawah ini:



Gambar 2.6 Mekanisme terjadinya tumbukan pada proses *Mechanical Alloying* (Suryanarayana, 2001)

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam proses *mechanical alloying* agar didapatkan hasil yang sesuai keinginan adalah mesin milling, kontainer milling, kecepatan milling, waktu milling, Ball Powder Ratio (BPR), ukuran vial, dan temperatur milling.



Gambar 2.7 Perubahan Mikrostruktur sesuai waktu milling

Process Control Agent (PCA) juga merupakan salah satu faktor penting pada proses milling. Serbuk partikel ada kemungkinan terkena *efek cold weld* antara partikel satu dengan partikel yang lain. Pemaduan (alloying) yang sempurna dapat terjadi ketika ada keseimbangan antara pengelasan dengan penghancuran dari serbuk serbuk tersebut. Process control agent atau biasa disebut pelumas di tambahkan ke dalam campuran serbuk selama terjadi proses *milling* untuk mengurangi efek dari cold welding. PCA berfungsi untuk mengurangi gesekan antar butir. PCA organik mengandung



beberapa atom diantaranya O, C, H, dan lain sebagainya yang berpengaruh pada proses mechanical alloying. PCA bisa berbentuk cairan, gas, maupun padatan.

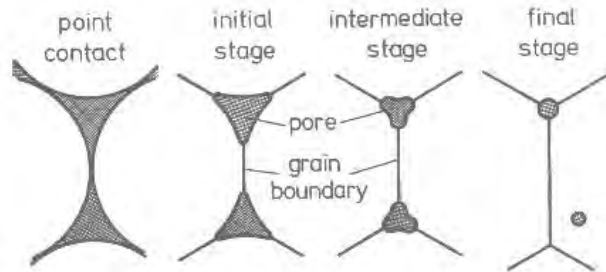
Tabel 2.2 Proses *Control Agent* (Suryanarayana, 2001)

PCA	Chemical formula	Quantity
<i>Benzene</i>	C_6H_6	-
<i>C wax</i>	$H_{35}C_{17}CONHC_2H_4NHCO$ $C_{17}H_{35}$	1.5 wt%
<i>Ethanol</i>	C_2H_5OH	4 wt%
<i>Ethyl acetate</i>	$CH_3CO_2C_2H_5$	-
<i>Graphite</i>	C	0.5 wt%
<i>Heptane</i>	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	0.5 wt%
<i>Hexane</i>	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	-
<i>Methanol</i>	CH_3OH	4 wt%
<i>Octane</i>	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	1 wt%
<i>Polyethylene glycol</i>	$H(OCH_2CH_2)_nOH$	-
<i>Sodium chloride</i>	NaCl	2 wt%
<i>Stearic acid</i>	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	1 wt%
<i>Toluene</i>	$C_6H_5CH_3$	5 ml

2.8. Sintering

Proses sinter merupakan metode untuk membuat produk dari bahan serbuk dengan memanaskan material (di bawah titik leburna) sehingga partikel partikel tersebut berikatan satu sama lain. Proses sinter sendiri diartikan sebagai perlakuan panas untuk mengikat partikel – partikel menjadi koheren, menghasilkan struktur padat melalui transport massa yang terjadi pada skala atom.

Pada proses sinter terdapat beberapa tahapan yang dialami oleh partikel-partikel serbuk, yakni:



Gambar 2.8 Tahapan pada proses sintering

1. *Point contact*

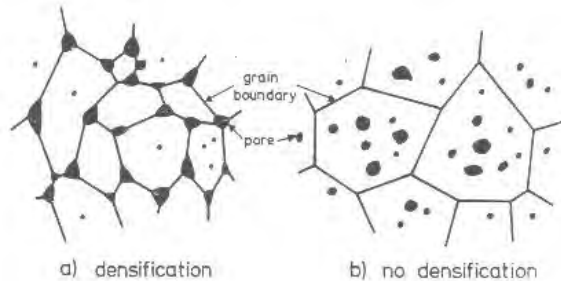
Terjadi pada tahap awal pemanasan, ditandai oleh pembentukan dan pertumbuhan *neck* antar partikel yang cepat. Pengotor yang menempel pada batas kontak mengurangi jumlah bidang kontak sehingga kekuatan produk sinter menjadi turun. Porositas masih berhubungan (*interconnected*)

2. *Initial stage*

Pada tahap awal ini terjadi perpindahan massa yang menyebabkan terjadinya pertumbuhan leher antarpartikel [11]. Tahap ini berakhir saat rasio ukuran leher (X/D) mencapai 0,3. Pada tahap ini pula, pori mulai terpisah karena titik kontak membentuk batas butir. Selain itu, terjadi pula penyusutan (*shrinkage*), pengurangan luas permukaan, dan pepadatan.

3. *Intermediate stage*

Porositas menjadi halus dan memiliki karakteristik *interconnected* serta berbentuk silinder. Densitas pada tahap ini adalah sekitar 70-90 % dari densitas teoritis. Pertumbuhan butir terjadi di akhir tahap ini, sehingga butir menjadi lebih besar dibandingkan dengan besar partikel awal.



Gambar 2.9 Pergerakan porositas pada saat sintering

4. *Final stage*

Pada tahap ini bentuk porositas menjadi bulat (*spherical*) dan tertutup sehingga tidak efektif dalam mencegah pertumbuhan. Porositas yang berada pada batas butir akan terseret oleh pergerakan batas butir sehingga menyebabkan densifikasi, sedangkan porositas yang telah tertutup tidak berkontribusi terhadap densifikasi. Total porositas kurang dari 8 % dan pertumbuhan butir menjadi sangat cepat.

2.9. Ferroelektrik

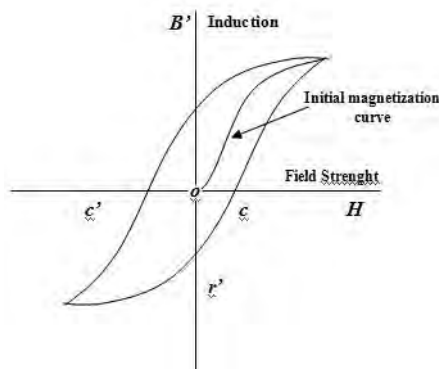
Keramik ferroelektrik pertama kali ditemukan pada tahun 1940, yaitu dengan ditemukannya konstanta dielektrik tinggi pada keramik kapasitor barium titanat. Sejak saat itu keramik ferroelektrik menjadi bahan yang sangat diperlukan oleh sejumlah industri. Komposisi pembuatan material ferroelektrik ada dua yaitu barium titanat dan zirkonat titanat. Kini perkembangan keramik ferroelektrik menjadi pesat, tidak hanya terdiri dari dua komposisi melainkan lebih dari itu (Adem, 2003). Material yang memiliki sifat ferroelektrik antara lain: $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ (PZT), $(\text{BaSr})\text{TiO}_3$ (BST), SrTiO_3 (ST) (Schwartz, 1997).

Pada dasarnya ferroelektrik material memiliki struktur kristal yang dinamakan *perovskite* (ABO_3), kation yang memiliki diameter besar pada pojok unit sel (A), kation yang



lebih kecil terletak pada pusat unit sel (B), dan ion oksigen pada pusat permukaan unit sel (Schwartz, 1997).

Ferroelektrik adalah kemampuan suatu material untuk mempertahankan polarisasi meskipun medan listrik ditiadakan. (Smallman, 1999). Pada kristal ferroelektrik terdapat domain yaitu daerah yang mempunyai polarisasi listrik yang sama. Jika domain-domain negatif (arahnya berlawanan dengan domain positif) diberikan medan listrik, yang mengakibatkan sejumlah domain negatif berubah arah yang berakibat polarisasi bertambah. Hal ini seperti diperlihatkan pada Gambar 2.10. Makin besar medan listrik makin besar polarisasi sehingga pada akhirnya domain-domain negatif tadi semuanya berubah arahnya. Akibatnya kristal menjadi berdomain tunggal yaitu positif. Meskipun medan diberikan terus polarisasi tidak berubah, inilah yang disebut polarisasi saturasi (P_s). Saat medan dikurangi polarisasi listrik kristal tersebut tidak akan kembali ke posisi semula tetapi mengikuti garis. Saat medan listrik nol masih terdapat polarisasi yang disebut polarisasi remanen (P_r). Untuk menghilangkan polarisasi pada kristal dilakukan dengan memberikan medan listrik yang arahnya berkebalikan, polarisasi akan nol. Medan yang digunakan untuk mengenolkan polarisasi disebut medan koersif (E_c).



Gambar 2.10. kurva histeresis



Material ferroelektrik dicirikan memiliki kemampuan untuk membentuk kurva histeresis. Kurva histeresis adalah kurva yang menghubungkan antara medan listrik (E) dan polarisasi(P) (Xu,1991). Nilai polarisasi remanen dan medan koersif dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$P_r = \epsilon_0 \times V_y / d \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E_c = V_x / d \dots\dots\dots(2.2)$$

Polarisasi saturasi adalah polarisasi yang nilainya tetap walaupun medan listrik eksternalnya bertambah besar. Polarisasi remanen adalah nilai polarisasi yang tetap ada pada bahan ferroelektrik walaupun sudah tidak lagi dipengaruhi oleh medan listrik. Sedangkan medan koersif adalah medan koersif pada bahan ferroelektrik adalah medan yang diperlukan untuk merubah polarisasinya dari nilai polarisasi remanen menjadi nol ($P = 0$). Nilai medan koersif dari suatu bahan bergantung dari banyak parameter diantaranya perlakuan suhu dan perlakuan listrik pada bahan.

2.10. Sifat Magnetik Material

Magnet dapat dibuat dari bahan besi, baja, dan campuran logam serta telah banyak dimanfaatkan untuk industri otomotif dan lainnya. Sebuah magnet terdiri atas magnet-magnet kecil yang memiliki arah yang sama (tersusun teratur), magnet-magnet kecil ini disebut magnet elementer. Pada logam yang bukan magnet, magnet elementernya mempunyai arah sembarangan (tidak teratur) sehingga efeknya saling meniadakan, yang mengakibatkan tidak adanya kutub-kutub magnet pada ujung logam. Setiap magnet memiliki dua kutub, yaitu: utara dan selatan. Kutub magnet adalah daerah yang berada pada ujung-ujung magnet dengan kekuatan magnet yang paling besar berada pada kutub-kutubnya.

Sifat magnetik suatu bahan terjadi karena adanya orbital dan spin elektron serta interaksi antara elektron yang satu dengan elektron yang lain. Suatu bahan yang ditempatkan



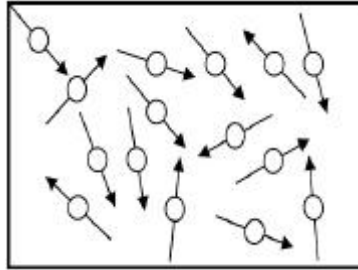
pada medan magnet luar dengan intensitas magnetik (H), terjadi magnetisasi (M) serta terjadi induksi magnet (B) (Purba, 2010). Berdasarkan sifat kemagnetannya, material magnet dapat di klasifikasikan kedalam diamagnetik, paramagnetik dan ferromagnetik.

2.10.1. Diamagnetik

Diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomisnya masing masing atom atau molekulnya nol, tetapi orbit dan spinnya tidak nol (D. Halliday dan Resnick, 1978) Diamagnetik merupakan gejala kemagnetan suatu bahan, dimana jika suatu bahan diberikan medan magnet luar H , maka akan terinduksi dengan adanya perubahan elektron orbital yang disebabkan oleh medan magnet luar. Besarnya momen magnet induksi sangat kecil dan arahnya kebalikan dari medan magnet luar. Material diamagnetik mempunyai suseptibilitas yang sangat kecil (dalam orde 10^{-5}) dan negatif.

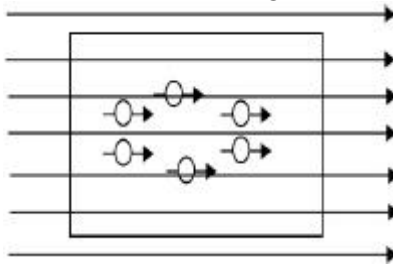
2.10.2. Paramagnetik

Paramagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomisnya masing masing atom atau molekulnya tidak nol, tetapi resultan medan magnet atomis total seluruh atom atau molekul dalam bahan nol (D. Halliday dan Resnick, 1978). Paramagnetik merupakan gejala kemagnetan suatu bahan, dimana jika bahan tersebut diberikan medan magnet luar, maka momen magnet pada bahan tersebut tersejajarkan pada arah medan magnet yang diberikan. Nilai susceptibilitasnya sangat kecil (dalam orde 10^{-5}) dan positif.



Gambar 2.11. Arah domain-domain dalam bahan paramagnetik sebelum diberi medan magnet luar

Bahan ini jika diberi medan magnet luar, elektron-elektronnya akan berusaha sedemikian rupa sehingga resultan medan magnet atomisnya searah dengan medan magnet luar. Sifat paramagnetik ditimbulkan oleh momen magnetik spin yang menjadi terarah oleh medan magnet luar.



Gambar 2.12. Arah domain dalam bahan paramagnetik setelah diberi medan magnet luar

Dalam bahan ini hanya sedikit spin elektron yang tidak berpasangan, sehingga bahan ini sedikit menarik garis-garis gaya. Dalam bahan paramagnetik, medan B yang dihasilkan akan lebih besar dibanding dengan nilainya dalam hampa udara. Suseptibilitas magnet dari bahan paramagnetik adalah positif dan berada dalam rentang 10^{-5} sampai 10^{-3} m³/Kg,



sedangkan permeabilitasnya adalah $\mu > \mu_0$. Contoh bahan paramagnetik : alumunium, magnesium dan wolfram.

2.10.3. Ferromagnetik

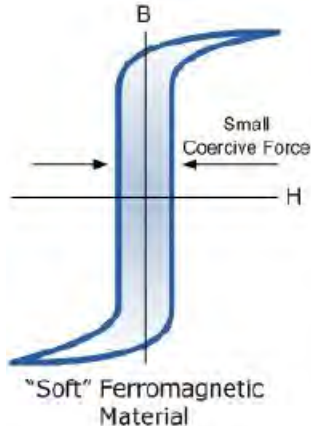
Ferromagnetik adalah bahan yang mempunyai resultan medan atom besar (D. Halliday dan Resnick, 1978), hal ini disebabkan oleh momen magnetik spin elektron. Pada bahan ferromagnetik banyak spin elektron yang tidak berpasangan. Masing masing spin elektron yang tidak berpasangan akan memberikan medan magnetik sehingga total medan magnet yang dihasilkan oleh suatu atom lebih besar. Medan magnet dari masing masing atom dalam bahan ferromagnetik sangat kuat, sehingga interaksi diantara atom atom tetangganya menyebabkan sebagian besar atom akan mensejajarkan diri membenuk kelompok kelompok. Material ferromagnetik memiliki susceptibilitas dengan nilai yang besar dan positif ($X_n > 0$)

2.10.4. Magnet Lunak

Bahan magnet lunak (*soft magnetic*) dapat dengan mudah termagnetisasi dan mengalami demagnetisasi. Magnet lunak mempertahankan sifat magnet pada medan magnet. Magnet lunak (*soft magnetic*) menunjukkan histeresis loop yang sempit, sehingga magnetisasi mengikuti variasi medan listrik hampir tanpa *hysteresis loss*. Magnet lunak (*soft magnetic*) digunakan untuk meningkatkan fluks, yang dihasilkan oleh arus listrik di dalamnya. Faktor kualitas dari bahan magnetik lunak adalah untuk mengukur permeabilitas yang sehubungan dengan medan magnet yang diterapkan. Parameter utama lainnya adalah koersivitas, magnetisasi saturasi dan konduktivitas listrik. Bahan magnetik lunak ideal akan memiliki koersivitas rendah (H_c), saturasi yang sangat besar (M_s), remanen (B_r) nol, *hysteresis loss* nol dan permeabilitas yang sangat besar. Kurva histerisi bahan magnetik lunak ditunjukkan pada Gambar 2.13. Beberapa bahan penting magnetik lunak diantaranya Fe, paduan Fe-Si, ferit lunak



($\text{MnZnFe}_2\text{O}_4$), besi silikon dll.(Pooja Chauhan, 2010)



Gambar 2.13 Kurva histeresis magnet lunak (*soft magnetic*).
(Pooja Chauhan, 2010)

2.10.5. Magnet Keras

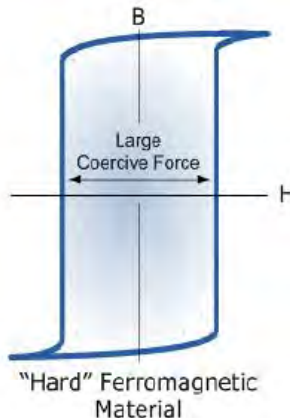
Bahan magnet keras (*hard magnetic*) juga disebut sebagai magnet permanen yang digunakan untuk menghasilkan medan yang kuat tanpa menerapkan arus ke koil. Magnet permanen memerlukan koersivitas tinggi, sehingga magnet harus mempunyai medan magnet yang kuat dan stabil terhadap bidang eksternal, yang membutuhkan koersivitas tinggi. Dalam bahan magnet keras (*hard magnetic*) anisotropi diperlukan magnetik uniaksial dan sifat magnetik berikut :

1. Koersivitas tinggi (*high coercivity*): koersivitas, juga disebut medan koersif, dari bahan feromagnetik adalah intensitas medan magnet yang diterapkan atau diperlukan untuk mengurangi magnetisasi bahan ke nol setelah magnetisasi sampel telah mencapai saturasi. Koersivitas biasanya diukur dalam satuan Oersted atau ampere / meter dan dilambangkan H_c . Bahan dengan koersivitas tinggi disebut bahan feromagnetik keras, dan digunakan untuk membuat magnet permanen .
2. Magnetisasi besar (*large magnetization*): Proses



pembuatan substansi sementara atau magnet permanen, dengan memasukkan bahan dalam medan magnet

Rectangular hysteresis loop: Sebuah loop hysteresis menunjukkan hubungan antara diinduksi kerapatan fluks magnet (B) dan gaya magnet (H). bahan magnetik keras memiliki hysteresis loop yang persegi panjang. (Poja Chauhan, 2010) Bahan magnetik keras memiliki loop hysteresis lebar karena magnetisasi yang kuat yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Kurva histeresis magnet keras (*hard magnetic*).
(Poja Chauhan, 2010)

2.11. Penelitian Sebelumnya

1. Archana Shukla (2008) menggunakan metode reaksi solid state dengan temperatur tinggi untuk membentuk $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ (PMT). Pada pengujian XRD didapatkan fasa tunggal dengan sistem kristal tetragonal. Resistansi material menurun dengan naiknya temperatur.
2. Manoj Kumar (2007) pada jurnalnya yang berjudul “Study of dielectric, magnetic, ferroelectric and magnetoelectric properties in the $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ system at room temperature” membentuk senyawa $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ dengan metode solid state konvensional, didapatkan hasil substitusi Mn



- mereduksi distorsi *lattice*, perbandingan c/a, dan temperatur Curie juga menurun dengan meningkatnya penambahan Mn.
3. S. Stoupina (2007) menggunakan metode kopresipitasi dalam jurnalnya yang berjudul “High concentration manganese doping of ferroelectric PbTiO₃”. Dari penelitian yang dilakukannya diperoleh hasil batas kelarutan 20mol % . Temperatur transisi ferroelektrik menurun sesuai penurunan konsentrasi Mn dan transisi lebih difusi, sesuai dengan sifat *solid solution*.
 4. Emre Erdem (2008) menggunakan metode *solid state* dalam jurnalnya yang berjudul “Microdtructure Characterization of the Manganese Functional Center Site in PbTiO₃ Ferroelectric-Multi-Frequency Electron Paramagnetic Resonance and Newman Superposition Model Analysis” atom Ti⁴⁺ yang disubstitusi oleh Mn⁴⁺ pada daerah B dari perovskite ABO₃
 5. A. G. Razumnaya (2011) dalam jurnalnya yang berjudul “Modifying the properties of lead titane in PbMn_xTi_{1-x}O₃ solid solution” disebutkan bahwa fasa perovskite PbMn_xTi_{1-x}O₃ ditemukan sampai penambahan 50% material Mn. Fasa pengotor Pb₃Mn₇O₁₅ ditemukan pada sampel $x \geq 0.4$.
 6. M. Adamiec (2007) melakukan doping MnO₂ pada PbTiO₃ dengan penambahan MnO₂ sedikit, yaitu 0.00005, 0.00001, 0.0005, 0.001, dan 0.005 mol MnO₂. Dan didapatkan hasil bahwa konsentrasi PbO meningkat 13% pada kristal PbTiO₃:xMn (x= 1.005, 0.01, 0.02, 0.05, 0.1). Sedangkan pada keadaan PbTiO₃ murni dan pada penambahan 0.5% Mn, konsentrasi Pb tetap sama. Penambahan mangan dengan konsentrasi yang sedikit menyebabkan grafik XPS berubah dengan signifikan, hal ini karena pergantian valensi Ti, Pb, dan Mn dengan pertukaran ion Ti dan Pb oleh ion Mn.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan bahan sebagai berikut:

1. Serbuk PbO
Serbuk dengan kemasan 250 gram, digunakan sebagai *raw material* untuk mendapatkan serbuk PbTiO₃
2. Serbuk TiO₂
M= 79,87 g/mol
Serbuk *titanium oxyde* TiO₂ anatase kemasan 1 kg produksi Merck , digunakan sebagai *raw material* dalam proses *mechanical alloying* untuk mendapatkan serbuk Pb(Ti_{1-x}Mn_x)O₃
3. Serbuk MnO₂ (merck)
M= 86,94g/mol
Serbuk *MnO₂* kemasan 1 kg produksi Merck, digunakan sebagai pendoping dalam proses *mechanical alloying* untuk mendapatkan serbuk Pb(Ti_{1-x}Mn_x)O₃
4. Larutan Analytical Ethanol C₂H₅OH 99,8% kemasan 4 liter produksi PT Smart Lab Indonesia digunkan sebagai PCA pada proses *milling*.

3.2. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan alat alat sebagai berikut:

1. Timbangan Digital
Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa serbuk.
2. Spatula
Spatula digunakan untuk mengambil serbuk yang akan digunakan.
3. Mortar
Mortar digunakan untuk menggerus serbuk yang akan digunakan
4. Plastik Klip
Plastik Klip digunakan untuk menyimpan spesimen.
5. *Dies*

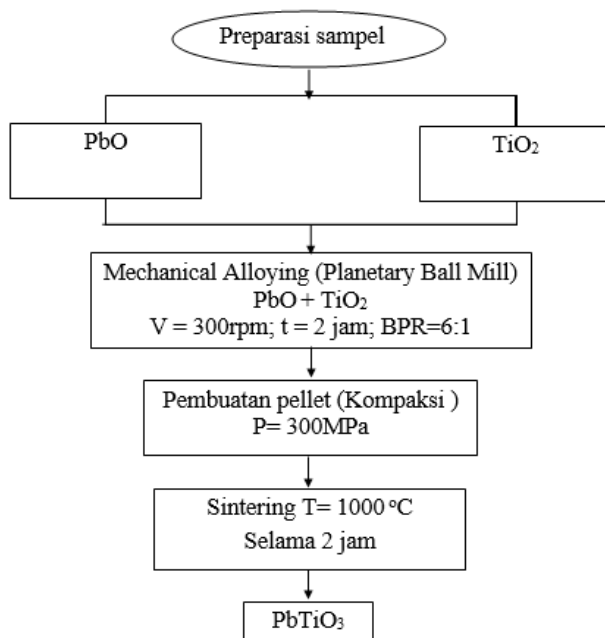


Dies digunakan untuk cetakan kompaksi

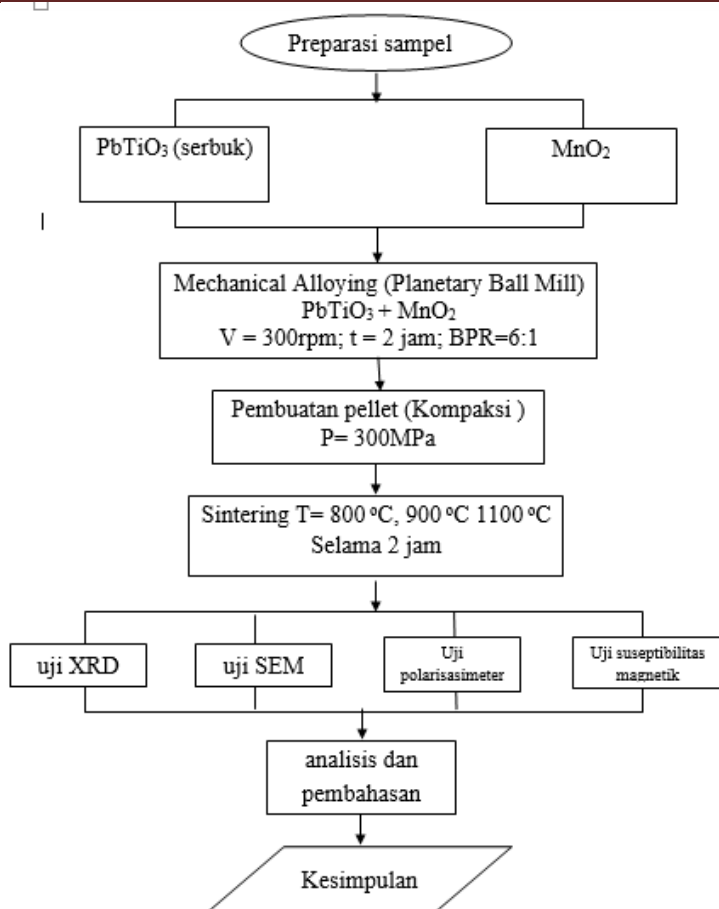
6. *Pipet*
Digunakan untuk meneteskan PCA pada saat akan milling
7. Alat Kompaksi
Alat kompaksi digunakan untuk mengompaksi serbuk hasil milling.
8. *Crusible*
Crusible digunakan sebagai wadah specimen saat dipanaskan dalam furnace.
9. Planetary ball mill
Planetary ball mill yang digunakan adalah Fritsch Pulverisette P-5 ball mill digunakan untuk proses *mechanical alloying*.
10. *Ball Mill*
Ball Mill digunakan untuk mereduksi ukuran serbuk dalam *vial* saat *milling*.
11. Furnace
Furnace digunakan untuk proses pemanasan serbuk
12. *Crushible*
Alat ini digunakan untuk menempatkan serbuk di dalam furnace
13. SEM
Alat ini digunakan untuk mengetahui morfologi serbuk
14. XRD
Alat ini digunakan untuk mengetahui system Kristal, struktur Kristal serta fasa dari serbuk yang telah disintering
15. Osiloskop
Alat ini untuk menampilkan kurva histeresis ferroelektrik
16. Suseptometer Magnet
Alat ini untuk mengetahui nilai suseptibilitas magnetik



3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian Sintesa PbTiO_3



Gambar 3.2 Diagram alir Penelitian PbTiO₃ doping MnO₂



3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Preparasi Sampel

Sebelum melakukan eksperimen serbuk PbO dan TiO₂, dilakukan perhitungan massa PbO dan TiO₂ sehingga diperoleh perbandingan 74:26. Kemudian serbuk ditimbang menggunakan timbangan digital dengan massa adalah 7.4 gram dan TiO₂ sebesar 2.6 gram. Sedangkan untuk massa MnO₂ dapat dihitung dengan persentase MnO₂ yang diinginkan, dan karena Mn⁴⁺ menggantikan Ti⁴⁺ (S. Stoupin, 2007)

3.4.2. Proses *Mechanical alloying*

Proses ini dilakukan dengan mesin *Planetary Ball Mill* dengan tujuan untuk menghomogenkan serbuk-serbuk PbO, TiO₂, dan MnO₂. Namun, sebelum serbuk dimasukan dalam vial, perlu dilakukan sterilisasi ball mill dan chamber dengan cara menambahkan ethanol ke dalam vial yang berisi bola – bola *milling* yang selanjutnya *dimilling* selama 10 menit. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kontaminan yang masih tersisa pada dinding vial serta bola *milling*, selanjutnya dibilas dengan air dan dibilas kembali dengan ethanol. Setelah itu serbuk PbO, TiO₂, dan MnO₂ yang telah ditimbang tadi dimasukkan dalam vial, kemudian dimasukan ball mill ke dalam vial dengan perbandingan berat *ball mill* dan serbuk 6:1 yaitu berat *ball mill* 60 gram dan 10 gram serbuk. Setelah itu, ditambahkan PCA dalam Vial untuk mengurangi gesekan antar butir pada saat *milling* berlangsung. Kemudian serbuk *dimilling* selama 2 jam.

3.4.3. Kompaksi

Proses ini dilakukan setelah proses kalsinasi, tujuannya adalah untuk meningkatkan densitas dan membuat bentuk pelet. Proses ini dilakukan dengan dengan tekanan 300 Mpa



3.4.4. Sintering

Setelah proses kompaksi dilakukan proses *sintering* dengan variasi temperatur 800°C, 900°C, dan 1100°C dengan *holding time* selama 5 jam menggunakan alat furnace.

3.4.5. Karakterisasi

a) Pengujian XRD

Alat yang digunakan adalah XRD (PANalytical X'Pert PRO MPD X-ray diffraction). Pengujian XRD digunakan pada pelet hasil sintesa mekanik untuk mengidentifikasi yang terbentuk pada PbTiO_3 .



Gambar 3.3 Mesin XRD

XRD (*X-Ray Diffraction*) merupakan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit, contohnya adalah identifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fase (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X. Jadi identifikasi fase kristalin dengan cara menentukan parameter struktur kisi dan menentukan ukuran partikel.

Prinsip kerja XRD adalah berkas sinar pertama dan kedua memiliki lintasan sebesar ($2d \sin \Theta$) untuk



sampai pada titik pengamatan. Agar terjadi inteferensi yang saling menguatkan maka beda liintasan yang bersangkuta haruslah merupakan kelipatan dari panjang gelombang sinar-x tersebut. Ini berarti:

$$2d \sin \Theta = n\lambda; n=1,2,\dots \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

persamaan tersebut di atas di sebut dengan hukum Bragg. Di mana **d** adalah jarak antar bidang yang sama, **Θ** adalah sudut difraksi, dan **λ** adalah panjang gelombang sinar-x yang digunakan.



Tabel 3.2. Informasi yang Terkandung Dalam Karakter
Tinggi, Posisi Serta Lebar dan Bentuk Puncak Difraksi.
(Pratapa, 2009)

No.	Karakter	Informasi dari material	Informasi dari instrumen
1	Posisi puncak (2θ)	<ul style="list-style-type: none">• Fase kristal/identifikasi• Struktur kristal• Parameter kisi• Regangan seragam	<ul style="list-style-type: none">• Kesalahan 2θ• Ketidaktepatan penempatan sampel
2	Tinggi puncak (intensitas)	<ul style="list-style-type: none">• Identifikasi• Komposisi• Hamburan tak koheren• Extinction• Preferred-orientation	
3	Lebar dan bentuk puncak	<ul style="list-style-type: none">• Ukuran kristal (bukan partikel atau grain)• Distribusi ukuran	<ul style="list-style-type: none">• Duplet radiasi• Divergensi aksial• Kedataran permukaan sampel

b) Pengujian SEM

Analisis morfologi yang digunakan adalah SEM (FEI INSPECT S50). SEM (*Scanning Electron Microscope*) adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menganalisa permukaan dari objek solid secara langsung.



Gambar 3.4 Alat SEM

Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati mikrostruktur dan pembentukan senyawa $\text{Pb}(\text{Ti}_{1-x}\text{Mn}_x)\text{O}_3$ hasil dari proses Mechanical Alloying. SEM memiliki perbesaran 10 - 3000000x, *depth of field* 4 - 0,4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri.

c) Pengujian Ferroelektrik

Pengujian ferroelektrik dilakukan di Jurusan Fisika Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Universitas Negeri Malang menggunakan alat TEXIO Oscilloscop CS4125A 20 Sampel yang diuji dalam bentuk pellet.

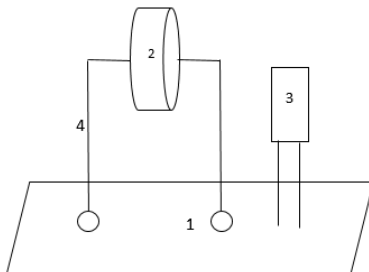
Data yang diperoleh dalam pengujian ini adalah berupa data kualitatif dan kuantitatif. Data kuantitatif diperoleh dari gambar kurva histeresis. Dari gambar



kurva histeresis diperoleh data berupa nilai polarisasi remanen (P_r) dan medan listrik koersif (E_c).

Pengujian ferroelektrik ini dilakukan dengan prosedur:

1. Menyiapkan PCB, 2 kawat tembaga, kapasitor 0,1 μF , solder, dan timah. Kemudian kapasitor dipasang dan kawat pada PCB dengan cara disolder. Setelah itu sampel direkatkan pada kedua ujung kawat tembaga dengan menggunakan pasta perak. Adapun susunan rangkaiannya ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.5 Rangkaian satu set elektrik

Keterangan gambar:

1. PCB
 2. Sampel PbTiO_3
 3. Kapasitor 0,1 0,1 μF
 4. Kawat tembaga
2. Menentukan kurva histeresis dari sampel dengan menggunakan rangkaian yang telah dihubungkan dalam alat pengukuran yaitu rangkaian sawyer tower.
 3. Memunculkan gambar kurva histeresis dari sampel pertama tersebut pada layar osiloskop dengan memutar power supply sedemikian dan mengarahkan AFG pada jenis segitiga sehingga diperoleh kurva histeresis



4. Frekuensi pada AFG ditetapkan konstan pada osiloskop dan pada arus AC
5. Mengulangi pengukuran untuk sampel selanjutnya

d) Pengujian Kemagnetan

Pengujian kemagnetan dilakukan di jurusan Fisika FMIPA ITS menggunakan alat *Magnetic Susceptibility Balance, Mark 1 Serial No 23814*.



Gambar 3.6. Alat Suseptometer

Peralatan ini bekerja karena adanya tegangan yang diberikan pada rangkaian osilator sehingga menimbulkan medan magnetik bolak-balik yang berintensitas rendah pada ruang sampel. Selanjutnya pada ruang ini diletakkan sampel, yang mengakibatkan perubahan frekuensi osilator. Nilai suseptibilitas magnetik sampel diperoleh dengan membandingkan



frekuensi osilator sebelum dan sesudah sampel diletakkan. Dimana instrumen ini dapat mengukur harga suseptibilitas dari 1×10^{-6} sampai 9999×10^{-6} dalam satuan cgs atau $1,26 \times 10^{-5}$ sampai $1,26 \times 10^{-1}$ dalam satuan SI. Seluruh proses pengukuran dan perhitungan dilakukan melalui perangkat lunak komputer. Nilai suseptibilitas magnetik dapat dihitung persatuan volume atau persatuan massa. Dalam pengukuran digunakan persatuan massa. Data suseptibilitas yang diperoleh lalu diolah untuk mendapatkan nilai permeabilitas relatif bahan. Nilai permeabilitas inilah yang dipakai dalam perhitungan, μ_r dapat dihitung dengan $\mu_r = \chi + 1$ dimana χ adalah suseptibilitas magnetik yang dapat dihitung dengan *Magnetic Susceptibility Balance, Mark 1 Serial No 23814*.

Berdasarkan arah dan besarnya suseptibilitas, material dapat dikelompokkan menjadi 3 kelas magnetik :

1. Diamagnetik (χ negatif dimana M berlawanan dengan H)
2. Paramagnetik (χ positif dimana M paralel dengan H , bernilai rendah)
3. Feromagnetik (χ positif bernilai besar)

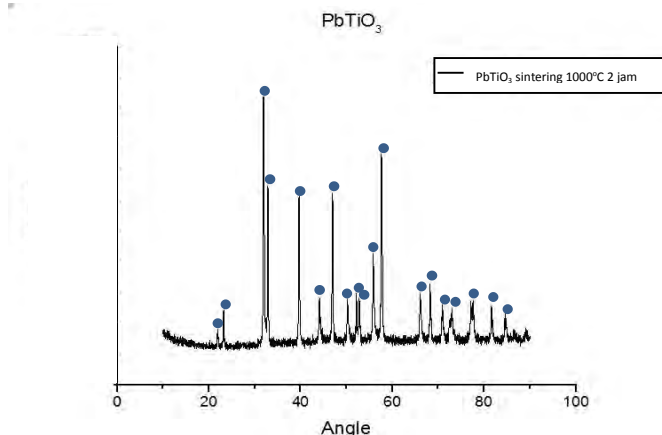
BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa XRD

Analisa XRD dilakukan di laboratorium karakterisasi material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS menggunakan alat *PAN Analytical*. Pellet PbTiO_3 yang telah disintering, dilakukan pengujian XRD untuk memastikan terbentuknya PbTiO_3 . Pengujian dilakukan dengan sinar X menggunakan *range* sudut 10° - 90° dengan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54060 \AA .

Pellet PbTiO_3 yang telah disintering, dilakukan pengujian XRD untuk memastikan terbentuknya PbTiO_3 . Pengujian dilakukan dengan sinar X menggunakan *range* sudut 10° - 90° dengan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54060 \AA .



Gambar 4.1. Hasil Pengujian XRD PbTiO_3

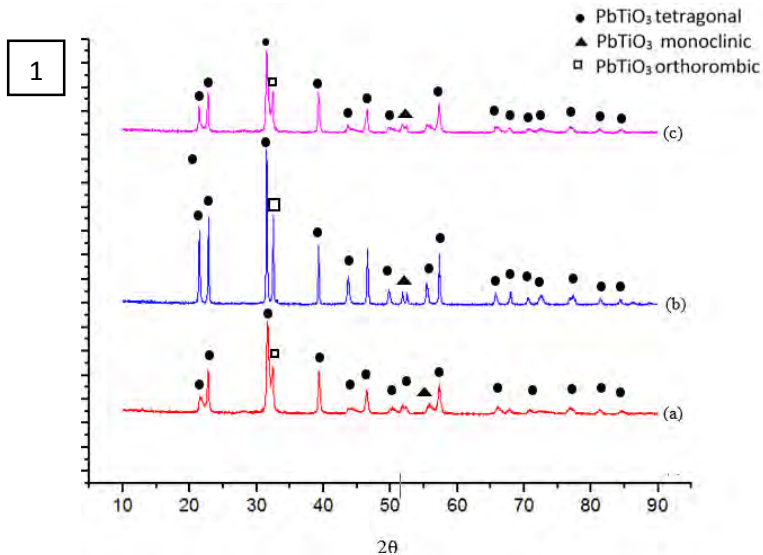
Hasil pengujian XRD pada Gambar 4.1 dianalisa menggunakan software *Match!* serta pencocokan secara manual dengan *PDFcard*, terlihat bahwa telah terbentuk

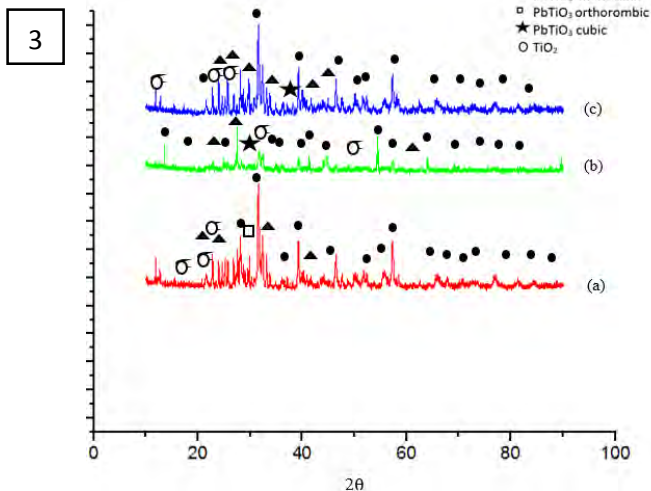
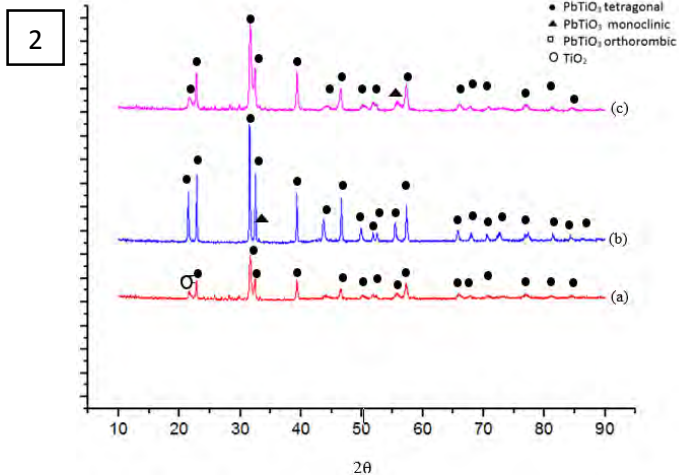


PbTiO_3 seutuhnya tidak menyisakan PbO maupun TiO_2 . Hal tersebut terlihat pada tiga titik puncak tertingginya yaitu pada 2θ 31.9015; 31.9788; dan 57.6024 sesuai dengan kartu ICDD dengan *pattern* no. 00-048-90105 dan 01-076-9122. Fasa PbTiO_3 yang terbentuk adalah tetragonal.

Berdasarkan Gambar 4.1 grafik hasil XRD PbTiO_3 yang menunjukkan bahwa telah terbentuk 100% PbTiO_3 . Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Febry Nugroho (2013), bahwa mulai terbentuk PbTiO_3 dengan temperatur 850°C dengan *holding time* 60 menit.

Pada Gambar 4.2 merupakan hasil XRD untuk doping 0,1; 0,15 dan 0,2 mol MnO_2 pada temperatur sintering 800°C , 900°C , dan 1100°C .





Gambar 4.2. Hasil Pengujian XRD pada Sampel dengan Variasi Doping MnO_2 (a) 0,1 mol, (b) 0,15 mol, (c) 0,2 mol pada Temperatur Sintering (1) 800 °C, (2) 900°C, dan (3) 1100°C



Tabel 4.1. Data posisi 2θ dan FWHM PbTiO_3 yang didoping dengan variasi MnO_2 0,1; 0,15 dan 0,2 mol dengan temperatur sintering 800°C

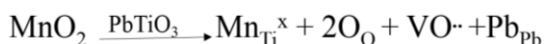
Doping MnO_2	Temperatur Sintering ($^\circ\text{C}$)	FWHM	2θ	c/a	E
0,1 mol	800	0,1224	31,5377	1,027583	0,001724
0,15 mol	800	0,1224	31,4758	1,062921	0,001728
0,2 mol	800	0,1506	31	0,975227	0,0022
0,1 mol	900	0,1632	31,5522	1,054696	0,002397
0,15 mol	900	0,1004	31,4888	1,063072	0,001345
0,2 mol	900	0,1632	31,5605	1,051973	0,002396
0,1 mol	1100	0,0816	31,5772	1,055047	0,000992
0,15 mol	1100	0,2676	31,7124	1,49349	0,004036
0,2 mol	1100	0,1428	31,5302	1,056636	0,002065

Pada Gambar 4.2 tampak bahwa penambahan 0,1 mol MnO_2 dengan temperatur sintering 800°C , senyawa yang terbentuk adalah 100% PbTiO_3 . Pada penambahan 0,15 mol, semua struktur kristalnya adalah tetragonal PbTiO_3 , kecuali pada 2θ di posisi 33.0510, struktur kristalnya adalah monoclinic PbTiO_3 . Pada penambahan 0,2 mol temperatur 800°C , fasa yang terbentuk pada semua puncak adalah puncak PbTiO_3 . Pada penambahan 0,2 mol MnO_2 , 2θ di posisi 49.7612 dan 52.4134 terdapat struktur kristal PbTiO_3 monoclinic, dan struktur kristal orthorombic pada 2θ di posisi 32.4119. Pada temperatur sintering 1100°C . Pada temperatur 1100°C lebih banyak muncul puncak TiO_2 dibandingkan dengan pada temperatur 800°C dan 900°C . Hal ini dapat



terjadi karena temperatur sintering yang terlalu tinggi, sehingga PbO dan MnO₂ yang titik lelehnya 888°C dan 535°C telah melewati titik meltingnya. Hal itu menyebabkan banyak muncul puncak TiO₂ yang titik leburnya masih jauh dari temperatur sintering yaitu sebesar 1843°C.

Berdasarkan Tabel 4.1 tampak bahwa nilai dari parameter kisi, pergeseran puncak, dan nilai *microstrain* dengan variasi temperatur 800 °C, 900 °C, dan 1100 °C tidak beraturan. Sedangkan untuk variasi komposisi doping, nilai parameter kisinya (c/a) untuk doping 0,1 dan 0,2 mol semakin menurun, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Archana (2008). Selain adanya puncak yang semakin melebar seiring dengan penambahan doping, juga terdapat pergeseran puncak difraksi ke arah kiri yang disebabkan adanya perubahan struktur kristal yaitu menurunnya parameter kisi kristal. Pola tersebut mengindikasikan bahwa ion Mn⁴⁺ telah berhasil menggantikan ion Ti⁴⁺ (Ahmad, 2010). Dengan adanya penambahan doping, nilai *microstrain* semakin tinggi, hal ini disebabkan karena terjadi cacat kristal, hal ini mengindikasikan adanya substitusi pada struktur kristal PbO oleh MnO, dengan persamaan reaksi *defect* yang dapat terjadi sebagai berikut :

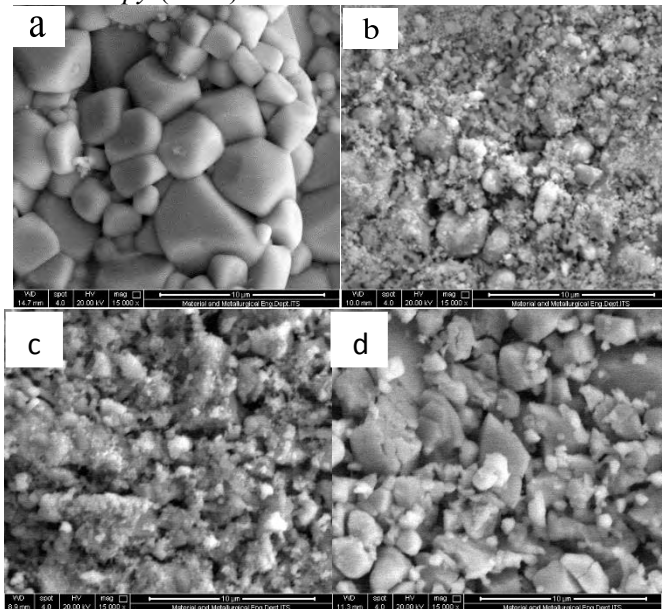


Pada reaksi defect tersebut menunjukkan terjadinya mekanisme *defect* ekstrinsik dimana Mn sebagai impuritas tersubstitusi kedalam struktur Kristal TiO₂ dan menggantikan posisi Ti, hal ini dapat terjadi karena ukuran atom Mn⁴⁺ dan Ti⁴⁺ yang berdekatan yaitu 0,53 Å dan 0,61 Å. (Manoj, 2007)



4.2. Analisa Hasil SEM

Karakterisasi SEM dilakukan di laboratorium karakterisasi material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS menggunakan alat FEI INSPECT S50. melakukan pengujian SEM untuk mengamati morfologi dan ukuran butir keramik PbTiO_3 . Gambar 4.3 merupakan gambar struktur mikro dari uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



Gambar 4.3. Hasil Pengujian SEM pada temperatur 900°C dengan komposisi doping (a) 0,1; (b) 0,15; (c) 0,2 mol MnO_2 perbesaran 15000x

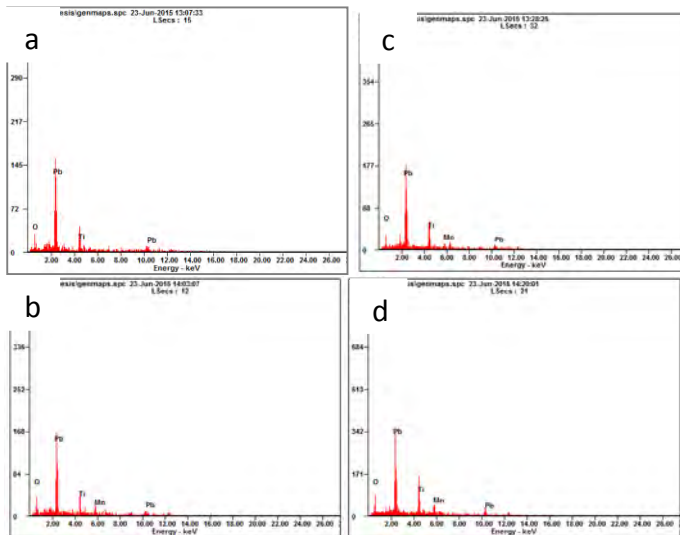
Dari hasil SEM pada Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa partikel dari PbTiO_3 berbentuk agregat bentuknya tidak beraturan yang dengan persebaran yang cukup merata dengan ukuran partikel yang acak yaitu $4\text{ }\mu\text{m}$ hingga $6\text{ }\mu\text{m}$.



Sampel PbTiO_3 yang telah didoping dengan komposisi 0,1 mol, 0,15 mol, dan 0,2 mol MnO_2 , dan telah disintering pada temperatur 800°C, 900 °C, dan 1100 °C dikarakterisasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) di laboratorium karakterisasi material di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS.

Gambar 4.3 menunjukkan morfologi dari sampel PbTiO_3 yang telah didoping dengan komposisi 0,1 mol, 0,15 mol dan 0,2 mol MnO_2 yang telah disintering dengan temperatur 900°C. Dapat dilihat bahwa morfologinya berbentuk agregat tidak beraturan dengan distribusi yang relatif merata. Terdapat butir dengan ukuran 2µm-5µm yang dikelilingi oleh butir-butir yang ukurannya jauh lebih kecil dengan ukuran yang acak. Butir-butir yang ukurannya jauh lebih kecil tersebut tampak seperti membentuk gumpalan disekitar butir yang ukurannya lebih besar dan gumpalan tersebut tampak cenderung menutupi butir yang ukurannya lebih besar tersebut.

Selain dilakukan pengujian SEM juga dilakukan pengujian EDX untuk mengetahui unsur kimia yang terkandung pada sampel. Gambar 4.4 merupakan hasil pengujian SEM-EDX untuk 0,1; 0,15 dan 0,2 mol 900°C.



Gambar 4.4. Hasil Pengujian SEM-EDX untuk PbTiO_3 didoping (a) tanpa doping (b) 0,1 (c) 0,15 (d) 0,2 mol 900°C

Tabel 4.2. Komposisi unsur penyusun PbTiO_3 dengan doping MnO_2 0,1 mol dan temperatur sintering 900°C

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
O	15.83	60.45
Pb	68.52	20.20
Ti	11.92	15.20
Mn	03.73	04.15



Tabel 4.3. Komposisi unsur penyusun PbTiO_3 dengan doping MnO_2 0,15 mol dan temperatur sintering 900°C

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
O	17.96	65.25
Pb	68.63	19.26
Ti	08.36	10.14
Mn	05.06	05.35

Tabel 4.4. Komposisi unsur penyusun PbTiO_3 dengan doping MnO_2 0,2 mol dan temperatur sintering 900°C

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
O	18.68	63.32
Pb	62.78	16.44
Ti	13.31	15.08
Mn	05.23	05.16

Pada Tabel 4.2; 4.3 dan 4.4 dapat diketahui bahwa pada hasil EDX PbTiO_3 yang disintering pada temperatur 900°C dengan variasi komposisi MnO_2 0,1; 0,15 dan 0,2 mol mempunyai unsur penyusun Pb, Ti, O, dan Mn.

4.3. Analisa Sifat Ferroelektrik

Pengujian ferroelektrik dilakukan di Jurusan Fisika Laboraturium Elektronika dan Instrumentasi Universitas Negeri Malang menggunakan alat TEXIO Oscilloscop CS4125A 20 Sampel yang diuji dalam bentuk pellet.

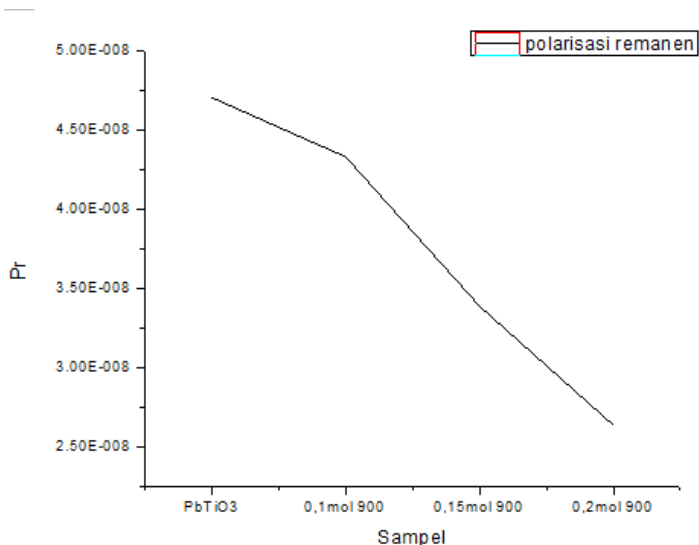
Pengujian ferroelektrik dilakukan pada pellet PbTiO_3 untuk mengetahui pengaruh doping dan sintering terhadap sifat kelistrikanya. Pengujian ferroelektrik dilakukan untuk mendapatkan polarisasi remanensi dan medan koersif. Pengujian dilakukan pada sampel dengan variasi temperatur



sintering dan pada sampel dengan variasi doping MnO . PbTiO_3 tanpa perlakuan diuji polarisasi dengan menggunakan *oscilloscop*. Pada layar osiloskop muncul kurva histeresis (terlampir) yang menunjukkan bahwa PbTiO_3 mempunyai sifat ferroelektrik.

4.3.1. Analisa Sifat Ferroelektrik berdasarkan Variasi Komposisi Doping MnO_2

PbTiO_3 yang telah disintering pada temperatur 900°C dengan variasi komposisi doping 0,1; 0,15 dan 0,2 mol MnO_2 . Pengaruh komposisi doping MnO_2 terhadap polarisasi remanennya dapat dilihat pada Gambar 4.6.

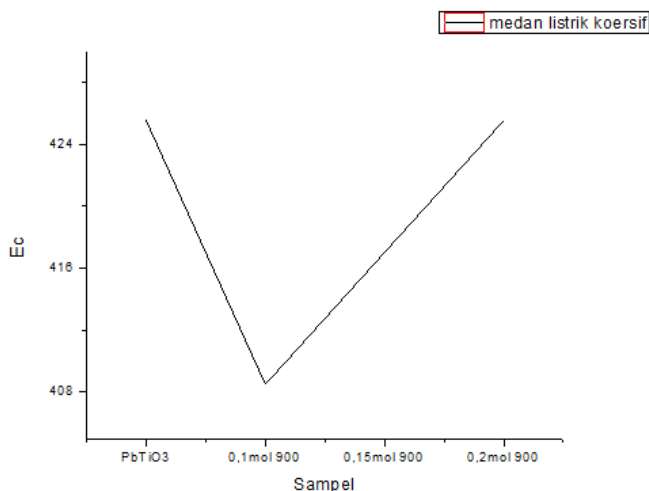


Gambar 4.6. Perubahan nilai Polarisasi remanen terhadap variasi doping MnO_2



Pada Gambar 4.6 tampak bahwa nilai polarisasi remanen PbTiO_3 tanpa doping sebesar $4,70 \times 10^{-8}$, dengan adanya penambahan 0,1 mol MnO_2 polarisasi remanennya berubah menjadi $4,33 \times 10^{-8}$. Begitupula pada penambahan 0,15 mol dan 0,2 mol, polarisasi remanen menurun menjadi $3,38 \times 10^{-8}$ dan $2,63 \times 10^{-8}$. Hal ini terjadi karena nilai polarisasi remanen dipengaruhi oleh ukuran butir pada saat sintering, semakin besar ukuran butir, maka semakin tinggi nilai polarisasi remanen hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Yofentina (2007). Ukuran butir Mn^{4+} lebih kecil daripada ukuran Ti^{4+} yaitu $0,53 \text{ \AA}$ dan $0,61 \text{ \AA}$ sehingga semakin tinggi komposisi MnO_2 yang ditambahkan pada PbTiO_3 maka ukuran buturnya akan semakin kecil sehingga nilai polarisasi remanennya akan semakin kecil pula.

Pada pengujian ferroelektrik ini didapatkan pula nilai medan koersif seperti pada Gambar 4.7.



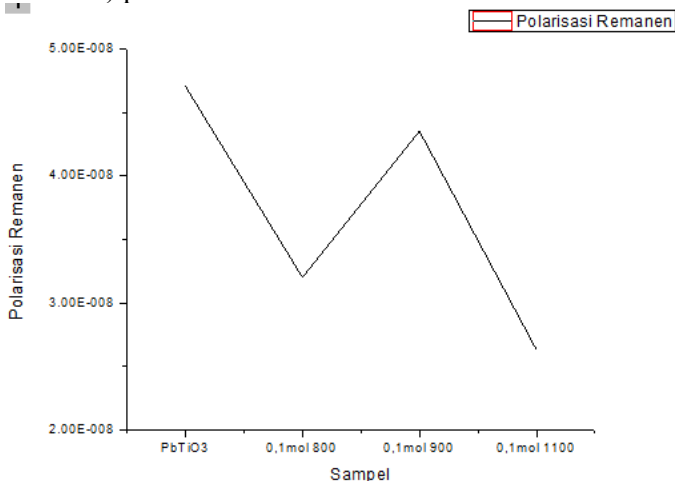
Gambar 4.7. Perubahan nilai Medan koersif terhadap variasi komposisi doping MnO_2



Pada Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa nilai medan koersif yang didapatkan pada pengujian ferroelektrik ini berbanding lurus dengan meningkatnya komposisi doping. Nilai medan koersif remanen PbTiO_3 tanpa doping sebesar 425,5319149 awalnya menurun dengan adanya penambahan doping 0,1 mol MnO_2 yaitu menjadi 408,5106383. Pada penambahan 0,15 mol dan 0,2 mol MnO_2 Nilai medan koersifnya meningkat menjadi 417,0212766 dan 425,5319149.

4.3.2. Pengaruh Variasi Temperatur Sintering terhadap Sifat Ferroelektrik

Berdasarkan data yang didapat pada pengujian polarisasimeter, diketahui bahwa data bahwa polarisasi remanen mengalami perubahan dengan variasi temperatur sintering yang diberikan karena adanya perubahan nilai V_x dan V_y seperti pada sehingga didapatkan nilai P_r (polarisasi remanen) pada Gambar 4.8.

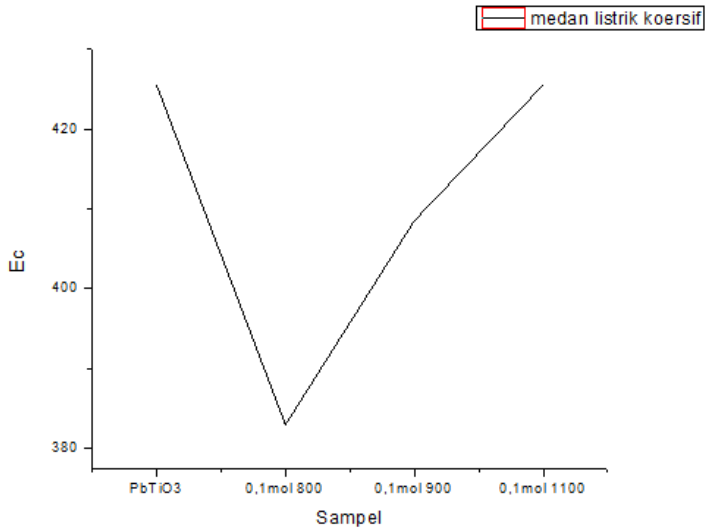


Gambar 4.8. Perubahan nilai Polarisasi remanen terhadap variasi temperatur sintering



Pada Gambar 4.8 terlihat bahwa polarisasi remanen semakin turun dengan dilakukannya sintering pada temperatur 800°C jika dibandingkan dengan sampel awal PbTiO_3 tanpa adanya doping yaitu $4,70 \times 10^{-8}$ turun menjadi $3,2 \times 10^{-8}$. Polarisasi remanen meningkat pada temperatur sintering 900°C menjadi $4,33 \times 10^{-8}$ kemudian terjadi penurunan polarisasi remanen menjadi $2,63 \times 10^{-8}$ pada temperatur sintering 1100°C . Meningkatnya nilai polarisasi remanen dari temperatur sintering 800°C dan 900°C dipengaruhi oleh ukuran butir pada saat sintering, semakin besar ukuran butir, maka semakin tinggi nilai polarisasi remanen hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Yofentina (2007). Penurunan nilai polarisasi remanen ini dimungkinkan terjadi karena munculnya puncak TiO_2 pada pengujian XRD. Sifat TiO_2 yang semikonduktor menyebabkan nilai polarisasi remanennya turun dibandingkan dengan PbTiO_3 pada temperatur sintering 800°C dan 900°C .

Dari pengujian ferroelektrik ini didapatkan pula nilai medan koersif (E_c) seperti pada Gambar 4.9



Gambar 4.9. Perubahan nilai Medan koersif terhadap variasi temperatur sintering yang diberikan

Pada Gambar 4.9 tampak bahwa nilai medan koersif pada variasi temperatur sintering PbTiO_3 tanpa doping sebesar 425,5319. Dengan adanya doping 0,1 mol MnO_2 dengan temperatur sintering 800°C menurunkan nilai medan koersifnya menjadi 382,9787. Dengan meningkatnya temperatur sintering menjadi 900°C dan 1100°C , nilai polarisasi remanen semakin tinggi. Hasil pengujian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sakamoto (2008).

4.4. Analisa Sifat Magnetik

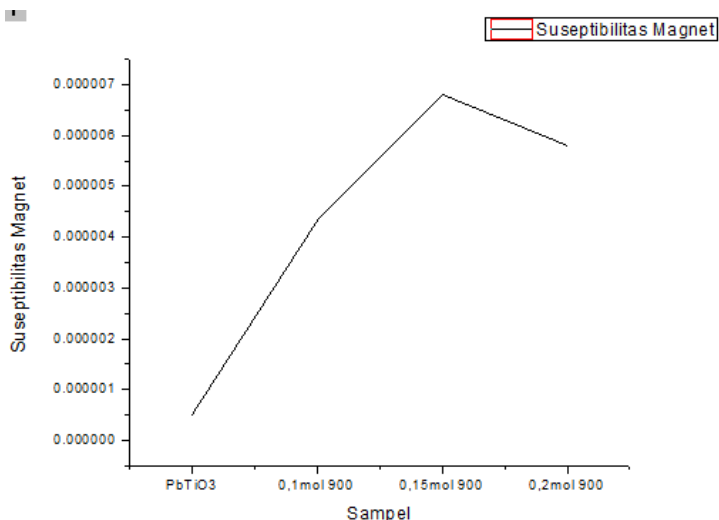
Pengujian magnetik dilakukan dengan pengujian suseptibilitas magnet menggunakan alat Magnetic Susceptibility Balance, Mark 1 Serial No.23814 di Jurusan Fisika FMIPA ITS. Suseptibilitas magnetik merupakan



kesebandingan antara vektor medan magnetik yang dikenakan pada suatu bahan dengan vektor magnetisasi, yang dihasilkan pada bahan tersebut. (Subekti, 2010)

4.4.1. Pengaruh Komposisi Doping MnO_2 terhadap nilai Suseptibilitas Magnetik

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui nilai suseptibilitas magnet, nilai suseptibilitas magnet PbTiO_3 tanpa doping adalah sebesar $0,0503 \times 10^{-5}$. Nilai suseptibilitas untuk PbTiO_3 dengan temperatur sintering 900°C dan komposisi doping 0,1 mol, 0,15 mol, dan 0,2 mol berturut-turut adalah sebesar $0,43 \times 10^{-5}$, $0,681 \times 10^{-5}$, dan $0,580 \times 10^{-5}$. Perubahan nilai suseptibilitas terhadap komposisi doping tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Perubahan nilai suseptibilitas magnetik terhadap variasi komposisi doping MnO_2

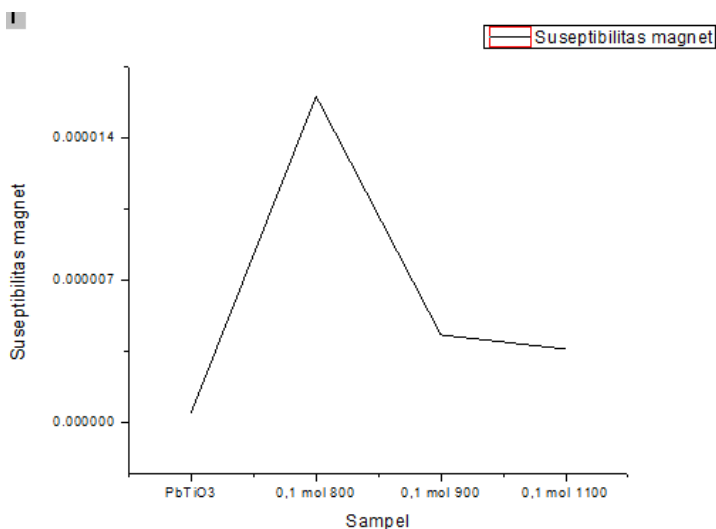


Pada Gambar 10 nilai suseptibilitas magnetik PbTiO_3 tanpa doping meningkat jika dibandingkan dengan PbTiO_3 yang telah diberi doping 0,1 mol MnO_2 dengan temperatur sintering 900°C , nilai suseptibilitas magnetiknya semakin meningkat pada doping 0,15 mol MnO_2 namun terjadi penurunan nilai suseptibilitas magnetik pada doping 0,2 mol. Nilai suseptibilitas magnetik dipengaruhi oleh ukuran kristal. Sesuai dengan hasil pengujian XRD pada Tabel 4.1, dengan meningkatnya ukuran kristal, maka nilai suseptibilitas semakin meningkat begitu pula sebaliknya, semakin kecil ukuran kristal, maka nilai suseptibilitas magnetik menurun. (Manoj, 2007)



4.4.2. Pengaruh Temperatur Sintering MnO_2 terhadap Nilai Suseptibilitas Magnetik

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui nilai suseptibilitas magnet, nilai suseptibilitas magnet PbTiO_3 tanpa doping adalah sebesar $0,0503 \times 10^{-5}$. Nilai suseptibilitas untuk PbTiO_3 doping 0,1 mol dengan temperatur sintering 800°C , 900°C , dan 1100°C berturut-turut adalah sebesar $0,160 \times 10^{-4}$, $0,43 \times 10^{-5}$, dan $0,362 \times 10^{-5}$. Nilai tersebut sesuai dengan Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Perubahan nilai suseptibilitas magnetik terhadap variasi temperatur sintering

Pada Gambar 4.11 nilai suseptibilitas magnetik PbTiO_3 tanpa doping meningkat jika dibandingkan dengan PbTiO_3 yang telah diberi doping 0,1 mol MnO_2 dengan temperatur



sintering 800°C, namun terjadi penurunan nilai suseptibilitas magnetik pada temperatur sintering 900°C dan 1100°C. Hal ini disebabkan oleh ukuran butir yang meningkat pada temperatur 900°C dan 1100°C yang mengakibatkan nilai suseptibilitas magnetik menurun. Karena nilai $0 < X_m < 1$, maka sampel PbTiO_3 yang didoping MnO_2 ini dapat dikatakan paramagnetik. Hal ini disebabkan oleh unsur MnO_2 sebagai pendoping disini mempunyai sifat paramagnetik, sehingga ketika MnO_2 ditambahkan pada PbTiO_3 maka sifat magnetiknya akan meningkat menjadi paramagnetik.

Menurut Manoj Kumar (2007), nilai suseptibilitas magnetik dipengaruhi oleh distorsi lattice. Semakin tinggi ukuran kristal, maka nilai suseptibilitas magnetiknya semakin menurun. Hal ini sesuai dengan nilai D (jarak antar kisi) pada hasil analisa XRD.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah terjadi proses doping MnO_2 pada sampel PbTiO_3 yang diindikasikan dengan terbentuknya peak PbTiO_3 pada pengujian XRD dan terdapat regangan kisi yang menunjukkan bahwa terjadi *defect*, yaitu substitusi Mn^{4+} pada Ti^{4+}
2. Pengaruh variasi temperatur sintering yaitu dengan meningkatnya temperatur sintering, maka ukuran butirnya semakin besar, hal itu mengakibatkan nilai polarisasi remanen dan medan listrik koersif pada sifat ferroelektriknya meningkat, yaitu namun peningkatan temperatur sintering menurunkan nilai suseptibilitas magnetnya nilai suseptibilitasnya berturut-turut pada temperatur 800°C , 900°C , dan 1100°C sebesar $0,160 \times 10^{-4}$, $0,43 \times 10^{-5}$, dan $0,362 \times 10^{-5}$
3. Pengaruh variasi komposisi doping 0,1; 0,15 dan 0,2 mol MnO_2 yaitu dengan meningkatnya komposisi MnO_2 mengakibatkan nilai polarisasi remanen dan medan koersifnya meningkat dan meningkatkan nilai suseptibilitas magnetiknya berturut turut sebesar $0,43 \times 10^{-5}$, $0,681 \times 10^{-5}$, dan $0,580 \times 10^{-5}$
4. Nilai polarisasi remanen PbTiO_3 tanpa doping lebih tinggi dibandingkan dengan PbTiO_3 yang didoping dengan MnO_2 . Namun dengan adanya penambahan MnO_2 dapat meningkatkan sifat magnetiknya. Dapat dilihat dari pengujian suseptibilitas magnetik yang



menunjukkan $0 < X_m < 1$, sehingga dapat diketahui bahwa sampel bersifat paramagnetik.

5.2. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan pengujian DSC TGA untuk mengetahui temperatur stabil dari PbTiO_2 doping MnO_2 dan adanya dekomposisi.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut pada sifat magnetik PbTiO_2 doping MnO_2

DAFTAR PUSTAKA

- C.Suryanarayana, 2001, "Mechanical Alloying and Milling", Departement of Metallurgical and Materials Engineering, Colorado School of Mines, Golden, CO 80401-1887, USA Progress in Materials Science 46, 1-184.
- Iriani, Yofentina, M., Hijam, B. Soejono., I. Mudzakir, 2007, "Pengaruh Heating Rate dan Jumlah Lapisan terhadap Sifat Listrik (Kurva Histeresis) pada Lapisan Tipis Barium Strontium Titanat", Program Study Fisika FMIPA UI
- Smallman, R.E., and R. J. Bishop. 2000. "Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material: Jakarta : Erlangga.
- Xu Y. 1991. "*Ferroelectric Material and Their Applications*". North-Holland. Netherland.
- Adem, 2003, "*Preparation Of BaxSr1-xTiO3 Thin Film By Chemical Solution Deposition and Their Electrical Characterization*", Thesis, Ankara Turkey :Middle East Technical University
- Schwartz, Robert W, 1997 "*Chemical Solution Deposition of Perovskite Thin Film*", Chem. Mater, 2325-2340
- Sakamoto, Wataru., Asika Iwata., Toshinobu Yogo, 2008, "Ferroelectric Properties of Chemically Synthesized Perovskite BiFeO₃-PbTiO₃ Thin Films", Division of Nanomaterials Science Nagoya University.
- Archana Shukla., Rn N. P. Choundhary., A. K. Thakur. 2009, "Effect of Mn⁴⁺ Substitution on Thermal, Structural, Dielectric, and Impedance Properties of Lead Titane", J. Matter Sci: Mater Electron 20: 745-755.
- Stoupin, S., S. Chattopadhyay., T. Bolin., C. U. Segre. 2007. "High Concentration Manganese Doping of Ferroelectric PbTiO₃" Departement of Biological, Chemical, and Physical Sciences, Illinois Institute of Technology, Chicago, Illinois, 60439, USA, Solid State Communication 144, 46-49.

- Chauhan, Pooja. 2010. Preparation And Characterization Of Barium Hexaferrite By Barium Monoferrite". Materials and Metalurgical Engineering School of physics and Material Science. Thapal University Patiala
- Adaimec, M., E. Talik., K. Wojcik. 2007 "Photoelectron Spectroscopy of PbTiO_3 ; Mn Single Crystals", Journal of Alloys and Compund 442, 222-224.
- A. Nicola. Hill, 2000, "Why Are There so Few Magnetic Ferroelectrics?". Materials Department, University of California, Santa Barbara, California 93106-5050, J. Phys. Chem. B 104, 6694-6709.
- Erdem. Emre., Michael Drahus., Rudiger-A. Eichel., Andrew Ozarowski., Johan Van Tol., Louis Claude Brunel, 2008, "Microstructural Characteization of the Manganese Functional Center Site in PbTiO_3 Ferroelectric- Multi Frequency Electron Paramagnetic Resonance and Newman Superposition Model Analysis" Eduard-Zintl-Institut, Technische Universtat Darmstadt, D-64287 Darmstadt, Germany, Ferroelectric, 363:39-49.
- Subekti, 2010, "Pengukuran Anisotropi Suseptibilitas Magnetik", Jurusasn Fisika Universitas Sebelas Maret.
- Kumar, Manoj dan KL Yadav. 2007. "Study of Dielectric, Magnetic, Ferroelectric, and Magnetolectric Properties in the $\text{PbMn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ System at Room Temperature". Journal of Physics Condensed Matter. IOP Science.
- Sinaga, P. 2009. "Pengaruh Temperatur Annealing Terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik, dan Sfat Optik dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan Zn:Al yang Dibuat dengan Teknik Screen Printing". Jurnal Pengajaran MIPA Vol 14.
- Pratapa, S. 2009. "Bahan Kuliah Difraksi Sinar-x" Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Kong, L.B., Zhang, T.S., Ma, J., Boey, F., 2008, "Progress in Synthesis of Ferroelectric Ceramic Materials Via High-Energy Mechanochemical Technique", Temasek Laboratories, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 119260, Singapore School of

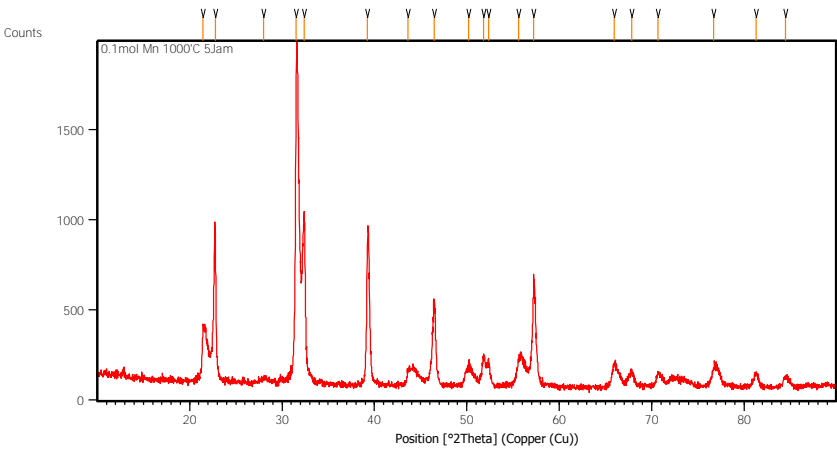
- Materials Science and Engineering, Nanyang Technological University, Nanyang Avenue, Singapore 639798, Progress in Materials Science 53, 207–322.
- Juandika, 2009, “Penelusuran Eksperimental pada Reduksi TiO₂ untuk Perolehan Logam Titanium melalui Proses FFC”. Program Study Fisika FMIPA UI.
- Lei Li, Xinfeng Zhu, Danni Yang, Linxia Gao, Jianwen Liu, R. Vasant Kumar, Jiakuan Yang, J. Hazard. Mater. 203–204. 274. 2012
- Lewis, Nathan. Nanocrystalline TiO₂. *Research*. California Institute of Technology. Retrieved 9 October 2009.
- Li, Ji-Guangdan Takamasa Ishigasi, Brookite → Rutile Phase Transformation of TiO₂ Studied With Monodispersed Particles, Acta Materialia 52, 514-5150, 2004.
- N.N. Greenwood, A. Earnshaw, Chemistry of Elements 2nd edition. Butterworth-Heinemann. 1997
- Ninndemona, Vinky. “Ekstraksi TiO₂ dari Pasir Mineral dan Penerapannya Sebagai Fotokatalis”, Tesis magister Ilmu Kimia. Program Study Magister Ilmu Kimia FMIPA UI. 2006
- G. A. Smolenskii, V. A. Bokov, 1964, “Coexistence of Magnetic and Electric Ordering in Crystals”, Journal of Applied Physics, vol. 35, no. 3, pp 915-918.
- Nugroho, Febry. “Pengaruh Waktu *Milling* dan Temperatur *Sintering* terhadap Pembentukan Partikel PbTiO₃ dengan Metode *Mechanical Alloying*”, Skripsi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS. 2013
- A. G. Razumnaya., M. F. Kupriyanow., Yu. V. Kabirov., A. G. Rudskaya., N. B. Kofanowa. 2011, “modifying the Properties of Lead Titane in PbTi_{1-x}Mn_xO₃ Solid Solutions”, Bulletin of the Russian Academi of Science. Physics, Vol. 75, No. 9: 1143-1145.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Kurva XRD

a. Komposisi doping 0,1 mol MnO₂ temperatur sintering 800⁰C

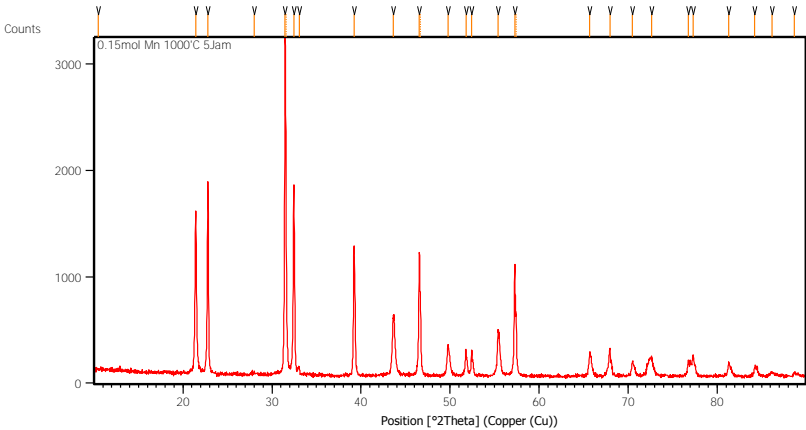


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4439	297.82	0.1673	4.14386	18.18
22.7712	831.43	0.1171	3.90525	50.76
27.9759	22.24	0.8029	3.18941	1.36
31.5377	1638.07	0.2175	2.83686	100.00
32.4144	938.98	0.1338	2.76211	57.32
39.2389	781.85	0.1338	2.29602	47.73
43.6500	80.07	0.3346	2.07368	4.89
46.4827	463.10	0.3680	1.95369	28.27
50.1713	102.60	0.6691	1.81837	6.26
51.8153	156.44	0.2676	1.76447	9.55
52.3716	123.73	0.2676	1.74703	7.55
55.5880	146.00	0.3346	1.65333	8.91
57.2551	584.01	0.1673	1.60909	35.65

65.9395	128.16	0.4684	1.41665	7.82
67.8253	89.82	0.3346	1.38178	5.48
70.6805	54.48	0.3346	1.33281	3.33
76.7339	94.40	0.4015	1.24205	5.76
81.2708	72.67	0.4015	1.18379	4.44
84.4846	56.00	0.6691	1.14677	3.42

b. Komposisi doping 0,15 mol MnO₂ temperatur sintering 800⁰C

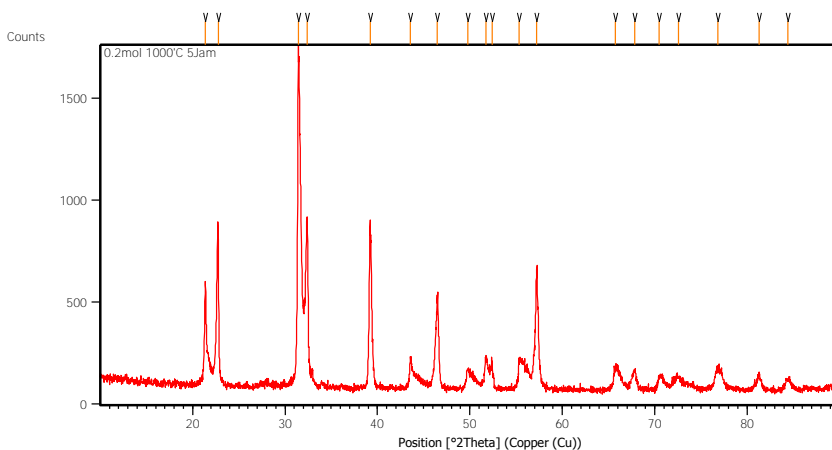


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.5179	6.49	0.8029	8.41107	0.21
21.4332	1527.63	0.1506	4.14591	48.49
22.8101	1803.42	0.1338	3.89867	57.24
28.0262	14.29	0.8029	3.18380	0.45
31.4758	3150.43	0.1224	2.83994	100.00
31.5652	2267.60	0.0612	2.83914	71.98
32.4606	1766.61	0.1224	2.75600	56.08
33.0510	64.83	0.2040	2.70811	2.06
39.2159	1226.53	0.1020	2.29541	38.93
43.6293	546.58	0.1428	2.07289	17.35

46.5612	1161.03	0.1224	1.94897	36.85
46.7018	577.25	0.0816	1.94826	18.32
49.7737	292.24	0.1428	1.83044	9.28
51.7869	246.97	0.0816	1.76391	7.84
52.4285	230.44	0.1224	1.74383	7.31
55.3980	413.71	0.1020	1.65718	13.13
57.2678	987.16	0.1224	1.60743	31.33
57.4400	553.84	0.0816	1.60701	17.58
65.6832	221.24	0.1632	1.42038	7.02
67.9635	229.48	0.1224	1.37817	7.28
70.5129	138.87	0.1836	1.33446	4.41
72.6211	170.86	0.4896	1.30083	5.42
76.7505	131.07	0.1632	1.24080	4.16
77.3218	185.38	0.1632	1.23305	5.88
81.3184	127.67	0.2040	1.18224	4.05
84.2394	90.36	0.2040	1.14853	2.87
86.1965	37.65	0.6528	1.12740	1.20
88.7061	38.72	0.2448	1.10188	1.23

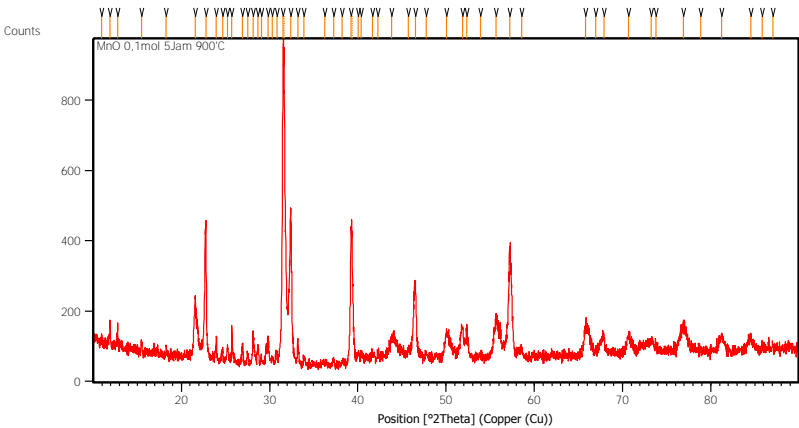
c. Komposisi doping MnO₂ 0,2 mol 800°C



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3915	499.91	0.1338	4.15389	30.48

22.7814	699.26	0.1338	3.90351	42.63
31.4369	1640.11	0.1506	2.84573	100.00
32.4119	819.28	0.1506	2.76231	49.95
39.1977	768.29	0.1338	2.29834	46.84
43.5592	147.84	0.1673	2.07779	9.01
46.4995	446.73	0.2676	1.95303	27.24
49.7612	96.45	0.2676	1.83239	5.88
51.7296	157.59	0.2342	1.76720	9.61
52.4134	108.11	0.2676	1.74574	6.59
55.3315	140.76	0.1673	1.66038	8.58
57.2273	583.19	0.1338	1.60980	35.56
65.7153	99.35	0.4015	1.42094	6.06
67.8499	95.33	0.3346	1.38134	5.81
70.5092	56.21	0.2676	1.33562	3.43
72.5568	49.92	0.8029	1.30290	3.04
76.8523	96.88	0.5353	1.24044	5.91
81.2886	80.56	0.3346	1.18358	4.91
84.4191	51.28	0.5353	1.14749	3.13

d. Komposisi doping MnO₂ 0,1 mol 900⁰C

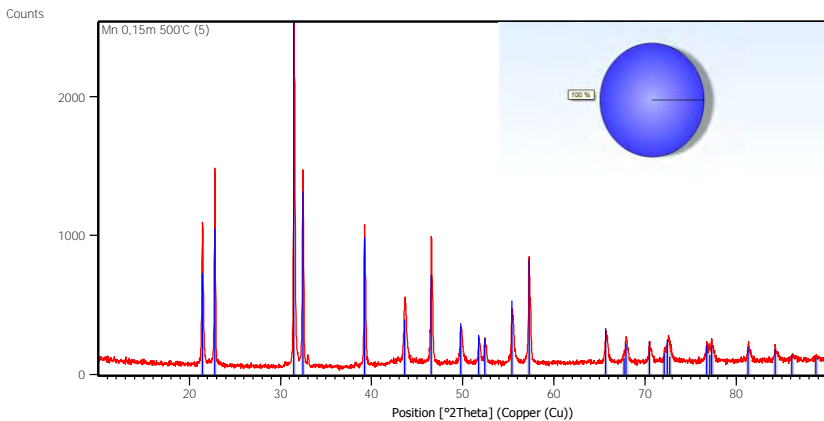


Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
10.9486	50.08	0.1338	8.08115	5.51

11.9237	106.61	0.0502	7.42243	11.72
12.7897	87.21	0.0669	6.92169	9.59
15.4789	39.49	0.1338	5.72470	4.34
18.2971	16.23	0.2007	4.84883	1.78
21.5792	169.08	0.0836	4.11820	18.59
22.7905	360.65	0.1506	3.90197	39.66
23.9750	67.46	0.0836	3.71182	7.42
24.6602	28.56	0.1004	3.61021	3.14
25.2463	37.95	0.1338	3.52771	4.17
25.7193	81.83	0.0669	3.46390	9.00
26.9210	48.18	0.1338	3.31194	5.30
27.5085	17.26	0.2007	3.24253	1.90
28.1181	91.72	0.0669	3.17360	10.09
28.7030	41.38	0.1673	3.11025	4.55
29.0646	24.25	0.0836	3.07237	2.67
29.8238	55.27	0.1673	2.99587	6.08
30.2847	14.75	0.1673	2.95131	1.62
30.8313	29.56	0.2007	2.90023	3.25
31.5522	909.45	0.1632	2.83324	100.00
31.6510	890.82	0.0816	2.83164	97.95
32.4126	435.16	0.1224	2.75997	47.85
33.1933	66.24	0.1224	2.69682	7.28
33.8722	19.33	0.1224	2.64431	2.13
36.2532	4.80	0.8160	2.47591	0.53
37.2445	15.09	0.2448	2.41225	1.66
38.2502	10.63	0.3264	2.35111	1.17
39.2206	361.68	0.1224	2.29515	39.77
39.3513	372.87	0.0612	2.29351	41.00
40.0305	28.42	0.2040	2.25056	3.13
40.3851	38.92	0.1224	2.23161	4.28
41.6579	25.59	0.3264	2.16632	2.81
42.2814	26.96	0.1632	2.13581	2.96
43.8498	65.80	0.4080	2.06298	7.24
45.7064	36.41	0.2040	1.98341	4.00
46.5071	232.99	0.1632	1.95111	25.62
47.7283	24.78	0.2448	1.90400	2.72
50.0266	82.11	0.1632	1.82178	9.03

51.8807	92.45	0.2448	1.76094	10.17
52.3272	69.94	0.1632	1.74696	7.69
53.8945	11.46	0.5712	1.69980	1.26
55.6441	108.33	0.2448	1.65043	11.91
57.2047	318.81	0.0612	1.60906	35.05
58.5940	22.86	0.3264	1.57417	2.51
65.8010	76.41	0.4896	1.41812	8.40
66.9696	20.61	0.2040	1.39619	2.27
67.9172	48.49	0.2448	1.37900	5.33
70.6753	46.02	0.3264	1.33179	5.06
73.2657	28.93	1.1424	1.29096	3.18
73.7661	28.23	0.1632	1.28344	3.10

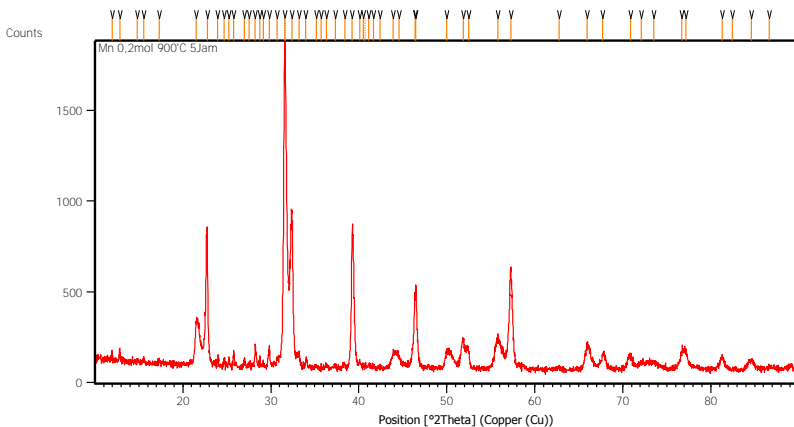
e. Komposisi doping MnO₂ 0,15 mol 900⁰C



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.4516	1020.53	0.1338	4.14239	41.85
22.8204	1426.61	0.1171	3.89693	58.50
31.4888	2438.71	0.1004	2.84116	100.00
32.4704	1429.25	0.1004	2.75748	58.61
33.0154	77.44	0.1338	2.71319	3.18
38.1951	19.37	0.1171	2.35633	0.79
39.2242	985.36	0.1020	2.29495	40.41

39.3327	619.07	0.0612	2.29455	25.39
43.6049	391.56	0.1632	2.07400	16.06
46.5600	908.20	0.1020	1.94901	37.24
46.6971	494.14	0.0612	1.94844	20.26
49.7781	248.17	0.2856	1.83029	10.18
51.7595	175.30	0.1020	1.76478	7.19
52.4227	177.07	0.1224	1.74401	7.26
55.4161	382.80	0.0816	1.65668	15.70
57.2707	769.53	0.1020	1.60736	31.55
57.4480	450.66	0.0816	1.60680	18.48
65.6904	227.98	0.1224	1.42024	9.35
65.9073	150.48	0.1632	1.41609	6.17
67.9983	161.15	0.1428	1.37755	6.61
70.5234	145.62	0.1428	1.33429	5.97
72.1595	87.50	0.1224	1.30801	3.59
72.5115	148.59	0.2040	1.30252	6.09
76.7910	138.86	0.1224	1.24024	5.69
77.3190	149.40	0.1632	1.23309	6.13
81.3479	131.57	0.1632	1.18189	5.40
84.2861	119.72	0.0816	1.14801	4.91
86.2751	37.85	0.4896	1.12658	1.55
88.8605	29.70	0.6528	1.10036	1.22

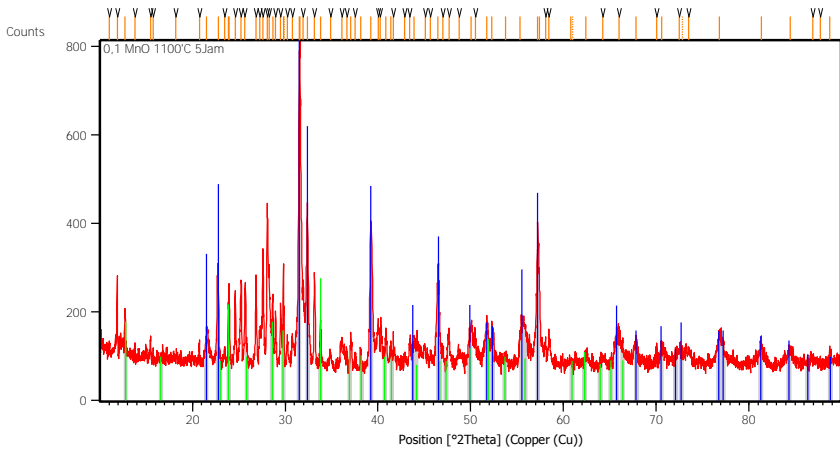
f. Komposisi doping MnO_2 0,2 mol 900°C



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.9418	56.75	0.0502	7.41121	3.31
12.8286	74.42	0.0502	6.90081	4.34
14.8364	16.78	0.1338	5.97115	0.98
15.5703	23.85	0.1338	5.69130	1.39
17.3461	20.54	0.0669	5.11247	1.20
21.5196	234.36	0.1673	4.12946	13.66
22.7910	680.27	0.1673	3.90189	39.65
23.9706	57.86	0.0502	3.71249	3.37
24.7119	25.55	0.1004	3.60278	1.49
25.2375	46.84	0.1004	3.52892	2.73
25.7775	69.50	0.0836	3.45621	4.05
26.9847	45.91	0.1338	3.30426	2.68
27.5482	16.11	0.1338	3.23794	0.94
28.2378	125.20	0.0669	3.16042	7.30
28.7464	62.00	0.0502	3.10566	3.61
29.1401	24.77	0.2007	3.06458	1.44
29.8362	84.20	0.1004	2.99465	4.91
30.7124	48.95	0.1004	2.91119	2.85
31.5605	1715.64	0.1632	2.83252	100.00
31.6580	1686.67	0.0816	2.83103	98.31
32.3796	851.33	0.1632	2.76271	49.62

33.2146	93.45	0.0612	2.69514	5.45
33.9857	46.81	0.1020	2.63573	2.73
35.1440	17.33	0.2448	2.55147	1.01
35.7310	9.83	0.0408	2.51089	0.57
36.3395	22.31	0.2448	2.47023	1.30
37.3241	15.29	0.2448	2.40729	0.89
38.3922	25.28	0.0816	2.34274	1.47
39.2437	720.53	0.1632	2.29385	42.00
40.1068	48.80	0.1224	2.24645	2.84
40.5298	23.36	0.1224	2.22398	1.36
40.7323	18.15	0.1020	2.21889	1.06
41.1575	20.80	0.2856	2.19150	1.21
41.6444	15.51	0.2448	2.16699	0.90
42.3801	5.87	0.3264	2.13106	0.34
43.9139	89.05	0.1224	2.06012	5.19
44.5539	64.30	0.4896	2.03200	3.75
46.3697	418.03	0.0612	1.95657	24.37
46.4818	451.90	0.0816	1.95211	26.34
49.9892	93.63	0.3264	1.82305	5.46
51.8603	149.44	0.3672	1.76159	8.71
52.4987	89.76	0.2040	1.74166	5.23
55.8268	168.80	0.1632	1.64546	9.84
57.2840	550.72	0.0816	1.60702	32.10
62.7605	11.76	0.4896	1.47931	0.69
65.9408	132.12	0.1632	1.41546	7.70
67.7343	82.96	0.1632	1.38227	4.84
70.8614	69.32	0.6528	1.32875	4.04
72.1298	35.76	0.3264	1.30847	2.08
73.5331	39.55	0.4896	1.28693	2.31

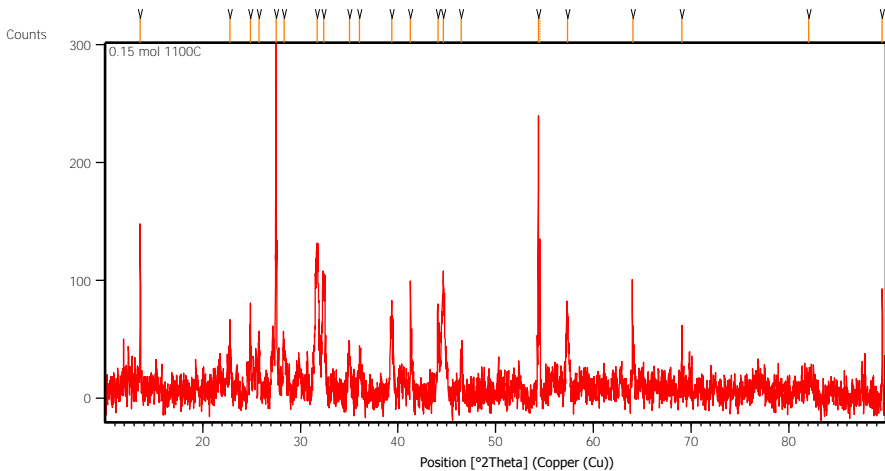
g. Komposisi doping MnO_2 0,1 mol 1100°C



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.0055	43.89	0.1338	8.03951	6.32
11.8876	196.85	0.0502	7.44486	28.35
12.7309	111.16	0.0836	6.95352	16.01
13.7765	37.34	0.0669	6.42807	5.38
15.4783	61.28	0.1004	5.72493	8.83
15.7670	36.67	0.0502	5.62074	5.28
18.1620	19.31	0.5353	4.88458	2.78
20.7326	56.78	0.1004	4.28440	8.18
21.5008	77.72	0.2007	4.13302	11.19
22.8047	191.43	0.1840	3.89957	27.57
23.4590	42.45	0.1004	3.79227	6.11
23.8544	139.40	0.0612	3.72722	20.08
23.9460	186.46	0.0669	3.71624	26.86
24.6086	150.23	0.0836	3.61765	21.64
25.2516	193.62	0.0836	3.52699	27.89
25.6519	175.34	0.1338	3.47284	25.25
26.8421	206.09	0.0669	3.32150	29.68
27.2647	73.93	0.1338	3.27097	10.65
27.6154	241.46	0.0836	3.23022	34.78
28.0596	363.47	0.0836	3.18009	52.35
28.2652	227.31	0.0669	3.15742	32.74

28.6618	152.20	0.0669	3.11462	21.92
28.9771	119.01	0.0669	3.08145	17.14
29.5050	133.12	0.0502	3.02751	19.17
29.7994	234.21	0.0612	2.99578	33.73
29.8874	119.73	0.0408	2.99458	17.25
30.2116	56.06	0.1224	2.95584	8.07
30.7468	52.78	0.2040	2.90560	7.60
31.5141	647.51	0.1020	2.83658	93.26
31.5772	694.29	0.0816	2.83106	100.00
31.9460	192.18	0.0612	2.79921	27.68
32.4016	368.71	0.0816	2.76088	53.11
33.1334	186.93	0.1224	2.70156	26.92
33.8027	102.96	0.0612	2.64958	14.83
34.8714	22.04	0.2448	2.57079	3.17
36.1256	64.53	0.1224	2.48436	9.29
36.6312	33.05	0.0816	2.45122	4.76
37.0755	75.16	0.0612	2.42286	10.82
37.5562	11.79	0.2448	2.39295	1.70
38.1345	38.28	0.1224	2.35798	5.51
39.2229	320.05	0.1428	2.29501	46.10
40.0607	93.43	0.1632	2.24893	13.46
40.2686	84.76	0.1224	2.23780	12.21
40.8834	84.92	0.0816	2.20555	12.23
41.3871	39.82	0.2040	2.17987	5.73
41.6786	54.18	0.1224	2.16529	7.80
42.8700	23.34	0.1632	2.10784	3.36
43.4112	44.63	0.1020	2.08280	6.43
43.9123	58.18	0.2448	2.06019	8.38
45.0936	34.68	0.1428	2.00893	5.00

h. Komposisi doping MnO_2 0,15 mol 1100°C

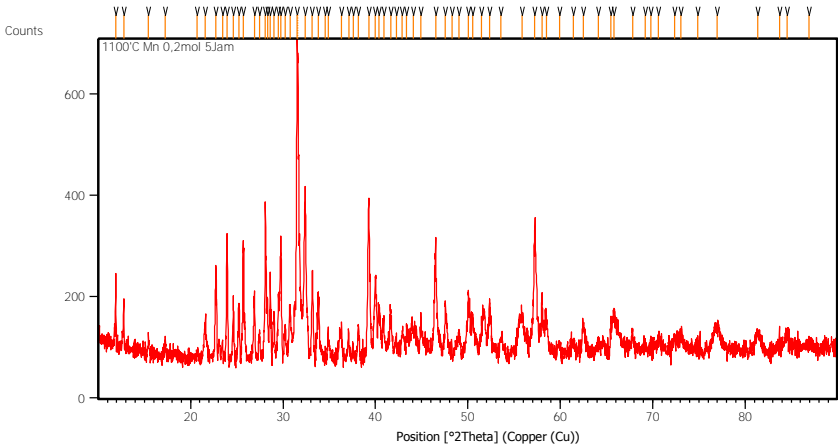


Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
13.6157	135.13	0.0669	6.50361	44.05
22.7929	42.54	0.2007	3.90156	13.87
24.8896	56.04	0.1338	3.57745	18.27
25.7906	42.90	0.2007	3.45448	13.98
27.5104	306.75	0.0502	3.24232	100.00
28.3523	35.93	0.2007	3.14791	11.71
31.7124	115.54	0.2676	2.82163	37.67
32.3760	89.56	0.2342	2.76530	29.20
35.0078	37.41	0.2007	2.56321	12.20
36.0807	30.27	0.2007	2.48941	9.87
39.3473	72.52	0.2676	2.28994	23.64
41.2856	99.72	0.0502	2.18680	32.51
44.1256	52.55	0.2007	2.05242	17.13
44.6360	98.89	0.2676	2.03013	32.24
46.4947	37.87	0.2007	1.95322	12.35
54.3784	239.82	0.0816	1.68581	78.18
54.5257	132.85	0.0612	1.68579	43.31
57.3373	54.96	0.2856	1.60565	17.92

64.0303	55.02	0.1224	1.45300	17.94
69.0600	46.71	0.1224	1.35894	15.23
82.0643	13.41	0.9792	1.17337	4.37
89.5861	98.11	0.0816	1.09332	31.98

i. Komposisi doping MnO₂ 0,2 mol 1100⁰C



Peak List: (Bookmark 3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
11.8955	140.13	0.0669	7.43997	23.43
12.7803	93.94	0.0502	6.92679	15.70
15.4466	31.90	0.1338	5.73659	5.33
17.2593	33.39	0.1338	5.13796	5.58
20.7210	14.44	0.2007	4.28676	2.41
21.5967	64.25	0.2342	4.11490	10.74
22.7514	178.30	0.0836	3.90859	29.81
23.4546	34.68	0.1004	3.79297	5.80
23.9330	244.69	0.1338	3.71822	40.90
24.6165	120.22	0.0836	3.61651	20.10
25.2463	104.79	0.1171	3.52770	17.52
25.6704	205.13	0.0612	3.46751	34.29

25.7319	207.10	0.0502	3.46223	34.62
26.9185	113.36	0.1171	3.31224	18.95
27.4743	49.74	0.1673	3.24648	8.32
28.0857	312.49	0.0502	3.17719	52.24
28.3200	114.28	0.0669	3.15143	19.10
28.6216	168.75	0.0502	3.11890	28.21
29.0409	94.43	0.0502	3.07482	15.78
29.4980	109.22	0.0502	3.02821	18.26
29.7716	212.77	0.1004	3.00100	35.57
30.2208	66.29	0.0836	2.95741	11.08
30.7429	84.72	0.2007	2.90836	14.16
31.5302	590.96	0.1428	2.83517	98.79
31.6172	598.20	0.0408	2.83459	100.00
32.4129	313.50	0.1224	2.75995	52.41
33.1534	172.20	0.1428	2.69997	28.79
33.7948	130.06	0.0408	2.65018	21.74
34.5859	23.57	0.0612	2.59135	3.94
34.8952	44.54	0.1224	2.56909	7.45
36.3216	70.26	0.0612	2.47140	11.74
37.1030	49.34	0.0816	2.42113	8.25
37.5768	17.90	0.2448	2.39169	2.99
38.1491	63.22	0.1020	2.35711	10.57
39.2670	305.29	0.1428	2.29254	51.03
40.0071	158.31	0.2040	2.25182	26.46
40.4050	104.69	0.1632	2.23056	17.50
40.9122	82.63	0.0612	2.20407	13.81
41.6330	90.24	0.1020	2.16756	15.09
42.2451	30.99	0.2040	2.13756	5.18
42.9051	52.46	0.2040	2.10619	8.77
43.3807	64.29	0.1224	2.08420	10.75
44.0900	53.76	0.4896	2.05230	8.99
44.9381	86.42	0.0612	2.01552	14.45
46.5033	232.10	0.0612	1.95126	38.80
47.5795	102.80	0.1632	1.90960	17.19
48.2647	29.91	0.0612	1.88408	5.00
49.0290	46.16	0.1632	1.85648	7.72
50.0641	120.33	0.1428	1.82050	20.12

50.5257	75.33	0.2040	1.80494	12.59
---------	-------	--------	---------	-------

2. PDF CARD

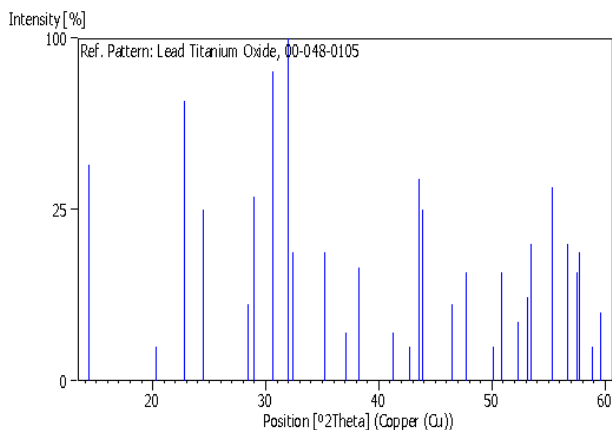
a. PDF CARD (ICCD) PbTiO₃ - 00-048-0105

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	2	0	0	6.18500	14.309	40.0
2	2	2	0	4.37000	20.305	1.0
3	3	1	0	3.90500	22.754	67.0
4	0	0	4	3.64200	24.421	25.0
5	2	1	3	3.64200	24.421	25.0
6	2	0	4	3.13600	28.438	5.0
7	4	0	0	3.08700	28.899	29.0
8	3	3	0	2.91500	30.645	82.0
9	3	2	3	2.79900	31.949	100.0
10	2	2	4	2.79900	31.949	100.0
11	4	2	0	2.76500	32.352	14.0
12	4	1	3	2.54800	35.193	14.0
13	0	0	6	2.42200	37.089	2.0
14	5	1	0	2.42200	37.089	2.0
15	4	0	4	2.35500	38.185	11.0
16	4	4	0	2.18500	41.286	2.0
17	2	2	6	2.11700	42.675	1.0
18	5	3	0	2.11700	42.675	1.0
19	5	2	3	2.07400	43.605	35.0
20	3	1	6	2.06100	43.894	25.0
21	6	0	0	2.06100	43.894	25.0
22	6	2	0	1.95400	46.434	5.0
23	4	0	6	1.90600	47.675	10.0
24	4	2	6	1.82000	50.079	1.0
25	0	0	8	1.82000	50.079	1.0
26	5	4	3	1.79300	50.886	10.0
27	6	0	4	1.79300	50.886	10.0
28	5	5	0	1.74700	52.326	3.0
29	6	2	4	1.72200	53.145	6.0

30	5	1	6	1.71400	53.413	16.0
31	6	4	0	1.71400	53.413	16.0
32	7	0	3	1.65900	55.332	32.0
33	7	3	0	1.62300	56.669	16.0
34	4	4	6	1.62300	56.669	16.0
35	1	0	9	1.60200	57.480	10.0
36	7	2	3	1.60200	57.480	10.0
37	5	3	6	1.59500	57.756	14.0
38	4	0	8	1.56700	58.888	1.0
39	2	1	9	1.55000	59.599	4.0
40	6	4	4	1.55000	59.599	4.0

Stick Pattern



b. PDF CARD PbTiO_3 - 01-078-0299

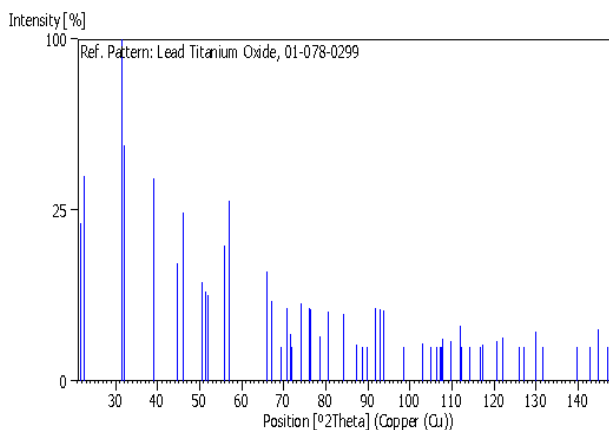
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.06300	21.858	21.2
2	1	0	0	3.94000	22.549	36.0
3	1	0	1	2.82850	31.607	100.0
4	1	1	0	2.78600	32.102	47.5

5	1	1	1	2.29770	39.175	35.0
6	0	0	2	2.03150	44.566	11.9
7	2	0	0	1.97000	46.035	24.4
8	1	0	2	1.80560	50.506	8.3
9	2	0	1	1.77260	51.515	6.8
10	2	1	0	1.76200	51.847	6.4
11	1	1	2	1.64150	55.973	15.6
12	2	1	1	1.61660	56.913	28.0
13	2	0	2	1.41420	66.007	10.3
14	2	2	0	1.39300	67.143	5.5
15	0	0	3	1.35430	69.331	0.7
16	2	1	2	1.33110	70.718	4.5
17	2	2	1	1.31770	71.547	1.9
18	3	0	0	1.31330	71.823	0.9
19	1	0	3	1.28080	73.943	5.2
20	3	0	1	1.24970	76.106	4.6
21	3	1	0	1.24590	76.380	4.4
22	1	1	3	1.21800	78.459	1.7
23	3	1	1	1.19120	80.580	4.1
24	2	2	2	1.14890	84.206	3.9
25	2	0	3	1.11600	87.297	1.1
26	3	0	2	1.10290	88.603	0.9
27	3	2	0	1.09280	89.641	0.7
28	2	1	3	1.07380	91.674	4.6
29	3	1	2	1.06210	92.981	4.4
30	3	2	1	1.05530	93.762	4.2
31	0	0	4	1.01580	98.632	0.4
32	4	0	0	0.98500	102.894	1.2
33	1	0	4	0.98360	103.099	0.8
34	2	2	3	0.97100	104.991	0.6
35	3	2	2	0.96240	106.336	1.0
36	4	0	1	0.95730	107.155	0.4
37	4	1	0	0.95560	107.431	0.5
38	1	1	4	0.95430	107.644	1.5
39	3	0	3	0.94280	109.578	1.4
40	4	1	1	0.93020	111.808	2.6
41	3	3	0	0.92870	112.082	0.7
42	3	1	3	0.91690	114.304	0.9

43	3	3	1	0.90530	116.615	0.6
44	2	0	4	0.90280	117.130	1.1
45	4	0	2	0.88630	120.713	1.4
46	4	2	0	0.88100	121.936	1.6
47	2	1	4	0.88000	122.171	1.1
48	4	1	2	0.86470	125.955	0.7
49	4	2	1	0.86100	126.929	0.6
50	3	2	3	0.85040	129.865	2.1
51	3	3	2	0.84460	131.575	1.0
52	2	2	4	0.82070	139.632	0.9
53	0	0	5	0.81260	142.863	0.1
54	4	2	2	0.80830	144.723	2.3
55	3	0	4	0.80350	146.944	0.4

Stick Pattern



c. PDF CARD PbTiO_3 - 01-075-0438

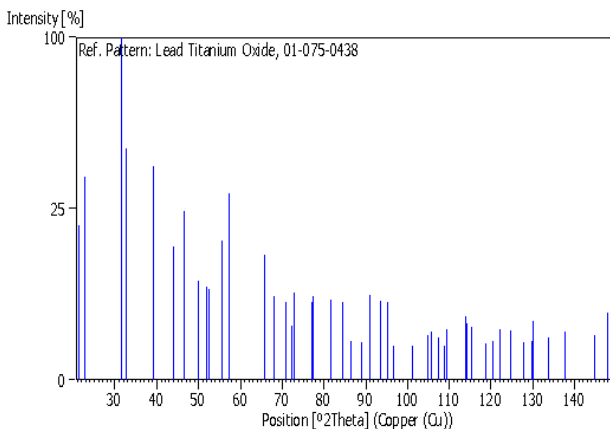
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.13000	21.499	20.5
2	1	0	0	3.89000	22.842	35.3
3	1	0	1	2.83170	31.570	100.0

4	1	1	0	2.75060	32.526	45.5
5	1	1	1	2.28940	39.323	38.9
6	0	0	2	2.06500	43.805	15.1
7	2	0	0	1.94500	46.662	24.4
8	1	0	2	1.82390	49.964	8.4
9	2	0	1	1.75960	51.923	7.4
10	2	1	0	1.73970	52.562	7.1
11	1	1	2	1.65140	55.609	16.6
12	2	1	1	1.60320	57.433	29.7
13	2	0	2	1.41580	65.923	13.3
14	0	0	3	1.37530	68.125	6.0
15	2	2	0	1.37530	68.125	6.0
16	2	1	2	1.33050	70.754	5.2
17	2	2	1	1.30490	72.359	2.5
18	1	0	3	1.29780	72.818	6.5
19	3	0	0	1.29780	72.818	6.5
20	3	0	1	1.23710	77.022	5.1
21	3	1	0	1.23010	77.542	5.9
22	1	1	3	1.23010	77.542	5.9
23	3	1	1	1.17890	81.598	5.5
24	2	2	2	1.14470	84.587	5.2
25	2	0	3	1.12370	86.550	1.3
26	3	0	2	1.09810	89.092	1.2
27	3	2	0	1.07950	91.052	6.1
28	2	1	3	1.07950	91.052	6.1
29	3	1	2	1.05680	93.588	5.3
30	3	2	1	1.04390	95.107	5.1
31	0	0	4	1.03250	96.499	0.9
32	1	0	4	0.99790	101.053	0.9
33	4	0	0	0.97250	104.761	1.7
34	2	2	3	0.97250	104.761	1.7
35	1	1	4	0.96660	105.673	2.0
36	3	2	2	0.95620	107.334	1.5
37	4	0	1	0.94660	108.929	0.8
38	4	1	0	0.94390	109.389	2.2
39	3	0	3	0.94390	109.389	2.2
40	4	1	1	0.91980	113.747	3.5
41	3	1	3	0.91730	114.227	2.7

42	3	3	0	0.91730	114.227	2.7
43	2	0	4	0.91200	115.264	2.4
44	3	3	1	0.89510	118.762	1.1
45	2	1	4	0.88790	120.351	1.3
46	4	0	2	0.87980	122.218	2.2
47	4	2	0	0.86980	124.652	2.1
48	4	1	2	0.85810	127.710	1.2
49	4	2	1	0.85120	129.635	1.3
50	3	2	3	0.84920	130.212	3.0
51	3	3	2	0.83800	133.622	1.5
52	0	0	5	0.82570	137.785	2.0
53	2	2	4	0.82570	137.785	2.0
54	1	0	5	0.80800	144.857	1.7
55	3	0	4	0.80800	144.857	1.7
56	4	2	2	0.80160	147.872	3.8

Stick Pattern



d. PDF CARD PbTiO_3 - 00-045-0533

Peak list

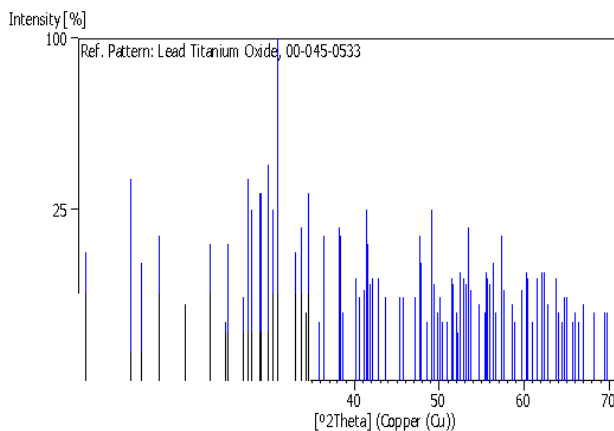
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	10.61360	8.324	14.0

2	0	0	1	6.51710	13.576	35.0
3	-1	0	1	5.94290	14.895	12.0
4	1	0	1	5.22880	16.943	18.0
5	-2	0	1	4.43290	20.014	5.0
6	2	0	1	3.85610	23.046	16.0
7	1	1	0	3.58830	24.792	3.0
8	3	0	0	3.53970	25.138	16.0
9	-3	0	1	3.31340	26.886	6.0
10	-1	0	2	3.24870	27.432	35.0
11	-1	1	1	3.20800	27.787	25.0
12	2	1	0	3.09670	28.807	30.0
13	1	1	1	3.07890	28.977	30.0
14	1	0	2	2.99700	29.787	40.0
15	3	0	1	2.93990	30.379	25.0
16	-2	1	1	2.89140	30.902	100.0
17	2	1	1	2.71070	33.019	14.0
18	4	0	0	2.65480	33.734	20.0
19	2	0	2	2.61730	34.232	4.0
20	-3	0	2	2.58900	34.618	30.0
21	-3	1	1	2.50350	35.840	3.0
22	-1	1	2	2.47220	36.310	18.0
23	1	1	2	2.35650	38.159	20.0
24	-2	1	2	2.34420	38.367	18.0
25	3	1	1	2.32930	38.623	4.0
26	3	0	2	2.24380	40.156	9.0
27	-4	0	2	2.21890	40.627	6.0
28	-1	0	3	2.19020	41.183	7.0
29	4	1	0	2.17860	41.412	25.0
30	0	0	3	2.17180	41.548	16.0
31	2	1	2	2.15710	41.844	8.0
32	-4	1	1	2.14240	42.145	9.0
33	-5	0	1	2.11020	42.820	9.0
34	1	0	3	2.07120	43.667	6.0
35	4	1	1	1.99730	45.371	6.0
36	-3	0	3	1.98120	45.760	6.0
37	4	0	2	1.92860	47.082	6.0
38	0	2	0	1.90640	47.664	18.0
39	-1	1	3	1.89910	47.859	12.0

40	1	2	0	1.87600	48.486	3.0
41	5	1	0	1.85510	49.068	25.0
42	-2	1	3	1.85300	49.127	12.0
43	-5	1	1	1.84590	49.329	8.0
44	0	2	1	1.82910	49.813	4.0
45	1	1	3	1.81970	50.088	6.0
46	-4	0	3	1.81220	50.309	3.0
47	1	2	1	1.79140	50.935	3.0
48	-6	0	1	1.77320	51.496	9.0
49	6	0	0	1.77020	51.589	8.0
50	-3	1	3	1.75810	51.971	4.0
51	-2	2	1	1.75190	52.169	2.0
52	3	0	3	1.74420	52.417	10.0
53	5	1	1	1.72890	52.916	9.0
54	4	1	2	1.72080	53.185	8.0
55	2	1	3	1.71290	53.450	20.0
56	-5	1	2	1.70670	53.659	7.0
57	3	2	0	1.67810	54.649	5.0
58	-6	0	2	1.65750	55.386	4.0
59	-3	2	1	1.65230	55.576	10.0
60	6	0	1	1.65010	55.656	9.0
61	-1	2	2	1.64420	55.873	8.0
62	0	0	4	1.62930	56.430	12.0
63	-2	0	4	1.62370	56.642	4.0
64	-6	1	1	1.60820	57.238	18.0
65	1	2	2	1.60820	57.238	18.0
66	3	2	1	1.59960	57.574	7.0
67	4	0	3	1.57540	58.544	5.0
68	-3	0	4	1.56760	58.864	3.0
69	4	2	0	1.54870	59.654	7.0
70	-4	2	1	1.53540	60.224	10.0
71	5	1	2	1.53240	60.354	9.0
72	7	0	0	1.51720	61.023	3.0
73	-5	1	3	1.50660	61.499	9.0
74	-2	1	4	1.49400	62.075	10.0
75	-4	0	4	1.48630	62.432	10.0
76	4	2	1	1.47920	62.766	5.0
77	-6	0	3	1.47920	62.766	5.0

78	1	1	4	1.45730	63.819	9.0
79	3	2	2	1.45250	64.055	4.0
80	-4	2	2	1.44600	64.378	3.0
81	-1	2	3	1.43790	64.784	6.0
82	7	0	1	1.43310	65.028	6.0
83	5	0	3	1.42100	65.651	3.0
84	-5	2	1	1.41440	65.996	4.0
85	3	0	4	1.40600	66.442	3.0
86	2	1	4	1.39500	67.034	5.0
87	-3	2	3	1.37390	68.204	4.0
88	2	2	3	1.35170	69.483	4.0
89	-5	2	2	1.34850	69.672	4.0

Stick Pattern



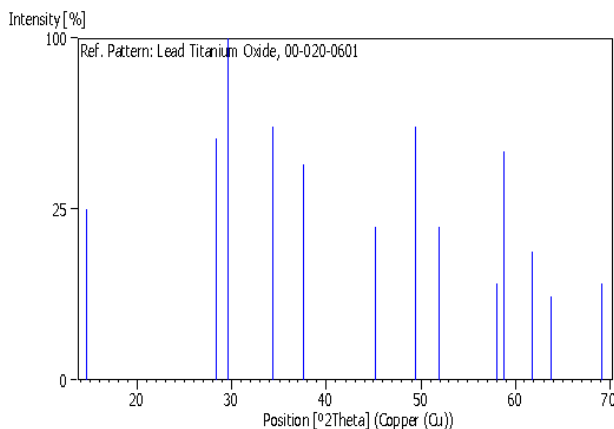
e. PDF CARD PbTi_2O_7 - 00-020-0601

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	1	1	6.06000	14.605	25.0
2	3	1	1	3.15000	28.309	50.0
3	2	2	2	3.02000	29.555	100.0
4	4	0	0	2.61000	34.331	55.0

5	3	3	1	2.39000	37.604	40.0
6	5	1	1	2.00600	45.163	20.0
7	4	4	0	1.84000	49.498	55.0
8	5	3	1	1.75800	51.974	20.0
9	5	3	3	1.58800	58.035	8.0
10	6	2	2	1.57000	58.765	45.0
11	4	4	4	1.50100	61.753	14.0
12	7	1	1	1.45700	63.834	6.0
13	7	3	1	1.35600	69.231	8.0

Stick Pattern



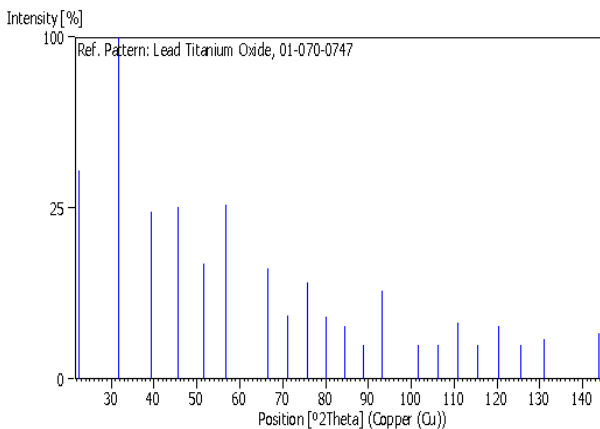
f. PDF CARD PbTiO₃ - 01-070-0747

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	3.97000	22.376	37.2
2	0	0	1	3.97000	22.376	37.2
3	1	0	1	2.80720	31.853	100.0
4	1	1	0	2.80720	31.853	100.0
5	1	1	1	2.29210	39.275	24.0
6	0	0	2	1.98500	45.668	25.2
7	2	0	0	1.98500	45.668	25.2

8	1	0	2	1.77540	51.427	11.3
9	2	1	0	1.77540	51.427	11.3
10	1	1	2	1.62080	56.752	26.0
11	2	1	1	1.62080	56.752	26.0
12	2	0	2	1.40360	66.570	10.5
13	2	2	0	1.40360	66.570	10.5
14	2	1	2	1.32330	71.198	3.4
15	2	2	1	1.32330	71.198	3.4
16	1	0	3	1.25540	75.699	8.0
17	3	1	0	1.25540	75.699	8.0
18	3	1	1	1.19700	80.110	3.3
19	1	1	3	1.19700	80.110	3.3
20	2	2	2	1.14600	84.469	2.4
21	2	0	3	1.10110	88.786	0.9
22	3	2	0	1.10110	88.786	0.9
23	3	2	1	1.06100	93.106	6.6
24	2	1	3	1.06100	93.106	6.6
25	4	0	0	0.99250	101.814	0.9
26	0	0	4	0.99250	101.814	0.9
27	3	2	2	0.96290	106.256	0.8
28	4	0	1	0.96290	106.256	0.8
29	3	3	0	0.93570	110.820	2.7
30	4	1	1	0.93570	110.820	2.7
31	3	1	3	0.91080	115.503	0.7
32	3	3	1	0.91080	115.503	0.7
33	4	2	0	0.88770	120.396	2.4
34	4	0	2	0.88770	120.396	2.4
35	4	1	2	0.86630	125.542	0.5
36	2	1	4	0.86630	125.542	0.5
37	3	2	3	0.84640	131.036	1.4
38	3	3	2	0.84640	131.036	1.4
39	4	2	2	0.81040	143.801	1.8
40	2	2	4	0.81040	143.801	1.8

Stick Pattern



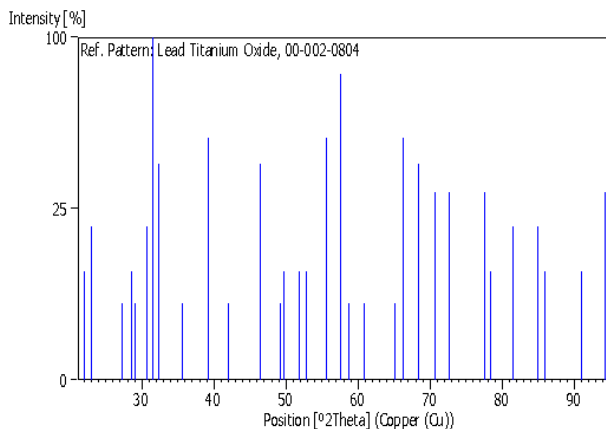
g. PDF CARD PbTiO₃ - 00-002-0804

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	1	0	0	4.03000	22.039	10.0
2	0	0	1	3.85000	23.083	20.0
3				3.26000	27.335	5.0
4				3.11000	28.681	10.0
5				3.07000	29.063	5.0
6	1	1	0	2.91000	30.699	20.0
7	0	1	1	2.83000	31.589	100.0
8	1	0	1	2.76000	32.412	40.0
9				2.52000	35.598	5.0
10	1	1	1	2.30000	39.135	50.0
11				2.15000	41.989	5.0
12	0	0	2	1.95000	46.535	40.0
13	0	2	1	1.85000	49.212	5.0
14				1.83000	49.787	10.0
15	0	1	2	1.76000	51.911	10.0
16	1	0	2	1.73000	52.880	10.0
17	2	1	1	1.65000	55.660	50.0
18	1	1	2	1.60000	57.559	80.0
19				1.57000	58.765	5.0
20				1.52000	60.899	5.0

21	0	2	2	1.43000	65.186	5.0
22	0	3	0	1.41000	66.229	50.0
23				1.37000	68.425	40.0
24	3	0	0	1.33000	70.785	30.0
25				1.30000	72.675	30.0
26	1	0	3	1.23000	77.549	30.0
27				1.22000	78.306	10.0
28	1	1	3	1.18000	81.506	20.0
29	0	3	2	1.14000	85.017	20.0
30	3	2	0	1.13000	85.950	10.0
31	3	2	1	1.08000	90.998	10.0
32	2	1	3	1.05000	94.381	30.0

Stick Pattern



h. PDF CARD $\text{Pb}_{0.94}\text{Ti}_{0.06}\text{O}_{1.06}$ - 01-085-1746

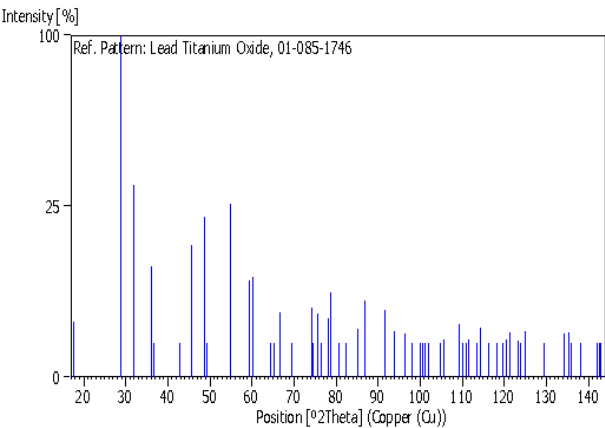
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.98310	17.785	2.6
2	1	0	1	3.10340	28.743	100.0
3	1	1	0	2.80470	31.882	31.7
4	0	0	2	2.49160	36.017	10.5

5	1	1	1	2.44420	36.740	0.1
6	1	0	2	2.10980	42.828	0.7
7	2	0	0	1.98320	45.712	14.8
8	1	1	2	1.86270	48.855	21.9
9	2	0	1	1.84270	49.420	0.5
10	2	1	1	1.67120	54.894	25.8
11	2	0	2	1.55170	59.527	8.0
12	1	0	3	1.53210	60.367	8.5
13	2	1	2	1.44500	64.428	0.3
14	1	1	3	1.42920	65.227	0.5
15	2	2	0	1.40240	66.634	3.6
16	2	2	1	1.34990	69.589	0.1
17	3	0	1	1.27800	74.133	4.1
18	2	0	3	1.27340	74.446	0.2
19	3	1	0	1.25430	75.777	3.4
20	0	0	4	1.24580	76.387	1.0
21	2	2	2	1.22210	78.146	2.9
22	2	1	3	1.21250	78.884	6.2
23	1	0	4	1.18850	80.801	0.2
24	3	0	2	1.16790	82.533	0.1
25	1	1	4	1.13850	85.156	2.0
26	3	1	2	1.12040	86.869	5.0
27	3	2	1	1.07420	91.630	3.8
28	2	0	4	1.05490	93.808	1.8
29	3	0	3	1.03450	96.251	1.6
30	2	1	4	1.01950	98.150	0.2
31	3	2	2	1.00640	99.885	0.1
32	3	1	3	1.00100	100.623	0.2
33	0	0	5	0.99660	101.235	0.1
34	4	0	0	0.99160	101.942	0.8
35	4	0	1	0.97260	104.746	0.1
36	1	0	5	0.96660	105.673	1.2
37	4	1	1	0.94460	109.269	2.4
38	1	1	5	0.93910	110.220	0.1
39	3	3	0	0.93490	110.962	0.5
40	2	2	4	0.93140	111.591	1.2
41	4	0	2	0.92130	113.461	1.0
42	3	2	3	0.91720	114.246	2.1

43	3	0	4	0.90670	116.329	0.1
44	4	1	2	0.89740	118.268	0.1
45	2	0	5	0.89050	119.770	0.2
46	4	2	0	0.88690	120.577	1.2
47	3	1	4	0.88390	121.262	1.7
48	3	3	2	0.87530	123.295	1.1
49	4	2	1	0.87320	123.807	0.1
50	2	1	5	0.86890	124.879	1.8
51	4	0	3	0.85140	129.578	0.1
52	4	2	2	0.83560	134.397	1.6
53	4	1	3	0.83250	135.423	1.7
54	0	0	6	0.83050	136.101	0.2
55	3	2	4	0.82460	138.182	0.1
56	3	3	3	0.81470	141.994	0.1
57	1	0	6	0.81290	142.738	0.2
58	2	2	5	0.81240	142.948	0.1

Stick Pattern



i. PDF CARD $\text{Pb}_{0.94}\text{Ti}_{0.06}\text{O}_{1.06}$ - 01-085-1749

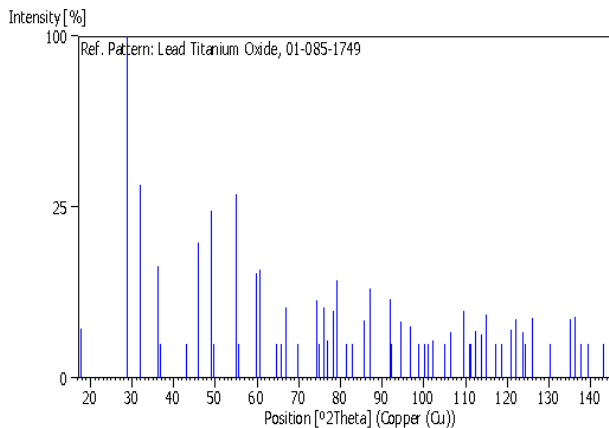
Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
-----	---	---	---	-------	-------------	-------

1	0	0	1	4.95260	17.896	2.1
2	1	0	1	3.09140	28.857	100.0
3	1	1	0	2.79790	31.961	31.9
4	0	0	2	2.47630	36.247	10.8
5	1	1	1	2.43600	36.868	0.1
6	1	0	2	2.09910	43.057	0.5
7	2	0	0	1.97840	45.829	15.7
8	1	1	2	1.85430	49.091	24.1
9	2	0	1	1.83720	49.578	0.5
10	2	1	1	1.66640	55.065	28.8
11	0	0	3	1.65090	55.627	0.2
12	2	0	2	1.54570	59.782	9.3
13	1	0	3	1.52360	60.740	10.1
14	2	1	2	1.43970	64.694	0.3
15	1	1	3	1.42180	65.610	0.5
16	2	2	0	1.39890	66.823	4.3
17	2	2	1	1.34630	69.802	0.1
18	3	0	1	1.27450	74.370	5.2
19	2	0	3	1.26750	74.851	0.1
20	3	1	0	1.25120	75.998	4.3
21	0	0	4	1.23820	76.941	1.2
22	2	2	2	1.21800	78.459	3.8
23	2	1	3	1.20710	79.307	8.1
24	1	0	4	1.18160	81.372	0.2
25	3	0	2	1.16410	82.861	0.1
26	1	1	4	1.13220	85.743	2.8
27	3	1	2	1.11680	87.219	6.8
28	3	2	1	1.07140	91.938	5.3
29	2	2	3	1.06730	92.395	0.1
30	2	0	4	1.04960	94.428	2.7
31	3	0	3	1.03040	96.761	2.3
32	2	1	4	1.01450	98.803	0.3
33	3	2	2	1.00330	100.307	0.1
34	3	1	3	0.99720	101.151	0.3
35	4	0	0	0.98920	102.285	1.2
36	4	0	1	0.97000	105.145	0.1
37	1	0	5	0.96090	106.575	1.8
38	4	1	1	0.94210	109.699	3.8

39	1	1	5	0.93370	111.176	0.2
40	3	3	0	0.93260	111.374	0.9
41	2	2	4	0.92720	112.358	1.9
42	4	0	2	0.91860	113.976	1.6
43	3	2	3	0.91390	114.889	3.5
44	3	0	4	0.90270	117.151	0.1
45	4	1	2	0.89480	118.827	0.1
46	4	2	0	0.88480	121.055	2.0
47	3	1	4	0.88010	122.147	3.0
48	3	3	2	0.87280	123.906	1.8
49	4	2	1	0.87100	124.352	0.1
50	2	1	5	0.86430	126.059	3.1
51	4	0	3	0.84850	130.416	0.1
52	4	2	2	0.83320	135.189	2.9
53	4	1	3	0.82970	136.376	3.2
54	0	0	6	0.82540	137.893	0.4
55	3	2	4	0.82130	139.405	0.2
56	3	3	3	0.81200	143.116	0.1
57	1	0	6	0.80800	144.857	0.3
58	2	2	5	0.80800	144.857	0.3

Stick Pattern



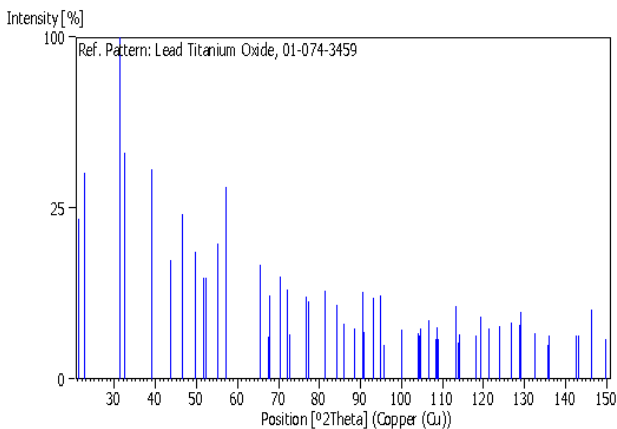
j. PDF CARD $\text{Pb}_{0.984}(\text{Ti}_{0.96}\text{O}_{2.97})$ - 01-074-3459

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.15830	21.351	22.1
2	1	0	0	3.90240	22.769	36.5
3	1	0	1	2.84560	31.412	100.0
4	1	1	0	2.75940	32.420	43.9
5	1	1	1	2.29920	39.149	37.9
6	0	0	2	2.07920	43.490	12.0
7	2	0	0	1.95120	46.505	23.4
8	1	0	2	1.83500	49.642	13.9
9	2	0	1	1.76640	51.709	8.8
10	2	1	0	1.74520	52.384	8.7
11	1	1	2	1.66050	55.278	15.7
12	2	1	1	1.60920	57.199	31.5
13	2	0	2	1.42280	65.558	11.2
14	0	0	3	1.38610	67.522	1.5
15	2	2	0	1.37970	67.878	5.9
16	2	1	2	1.33670	70.377	8.9
17	2	2	1	1.30950	72.064	3.4
18	1	0	3	1.30620	72.275	6.8
19	3	0	0	1.30080	72.623	1.7
20	3	0	1	1.24150	76.699	5.8
21	1	1	3	1.23860	76.912	3.7
22	3	1	0	1.23400	77.251	5.2
23	3	1	1	1.18300	81.255	6.7
24	2	2	2	1.14960	84.143	4.7
25	2	0	3	1.13000	85.950	2.6
26	3	0	2	1.10280	88.613	2.2
27	2	1	3	1.08540	90.420	6.5
28	3	2	0	1.08230	90.751	1.9
29	3	1	2	1.06120	93.084	5.6
30	3	2	1	1.04740	94.689	6.0
31	0	0	4	1.03960	95.626	0.6
32	1	0	4	1.00450	100.144	2.1
33	2	2	3	0.97780	103.959	1.8
34	4	0	0	0.97560	104.290	1.6
35	1	1	4	0.97280	104.715	2.2

36	3	2	2	0.96000	106.719	3.0
37	4	0	1	0.94980	108.390	1.4
38	3	0	3	0.94850	108.608	2.3
39	4	1	0	0.94650	108.946	1.4
40	4	1	1	0.92290	113.159	4.5
41	3	1	3	0.92170	113.386	3.2
42	3	3	0	0.91980	113.747	1.1
43	2	0	4	0.91750	114.188	1.7
44	3	3	1	0.89810	118.119	1.6
45	2	1	4	0.89310	119.197	3.3
46	4	0	2	0.88320	121.423	2.2
47	4	2	0	0.87260	123.955	2.4
48	4	1	2	0.86140	126.822	2.7
49	4	2	1	0.85400	128.842	2.5
50	3	2	3	0.85310	129.095	3.9
51	3	3	2	0.84120	132.615	1.8
52	0	0	5	0.83170	135.692	0.5
53	2	2	4	0.83030	136.170	1.6
54	1	0	5	0.81340	142.529	1.6
55	3	0	4	0.81210	143.074	1.6
56	4	2	2	0.80460	146.420	4.1
57	4	0	3	0.79780	149.825	1.4

Stick Pattern



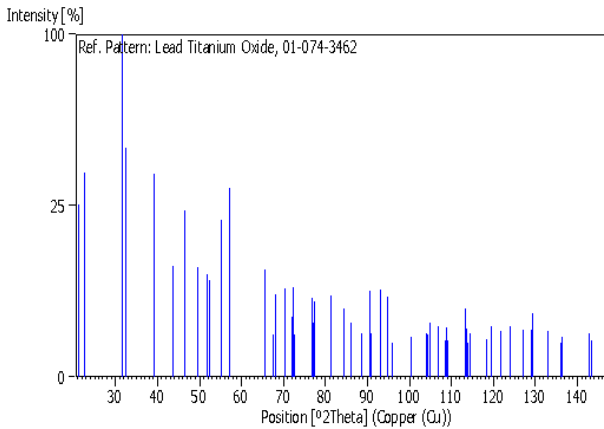
k. PDF CARD $\text{Pb}_{0.993}(\text{Ti}_{0.986}\text{O}_{2.904})$ - 01-074-3462

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.15410	21.373	25.4
2	1	0	0	3.89890	22.790	35.7
3	1	0	1	2.84290	31.442	100.0
4	1	1	0	2.75700	32.449	44.8
5	1	1	1	2.29710	39.186	35.2
6	0	0	2	2.07700	43.539	10.5
7	2	0	0	1.94940	46.550	23.7
8	1	0	2	1.83320	49.694	10.3
9	2	0	1	1.76480	51.759	9.0
10	2	1	0	1.74360	52.436	7.9
11	1	1	2	1.65890	55.336	20.9
12	2	1	1	1.60780	57.254	30.4
13	2	0	2	1.42140	65.630	9.8
14	0	0	3	1.38470	67.600	1.5
15	2	2	0	1.37850	67.945	5.8
16	2	1	2	1.33550	70.450	6.7
17	2	2	1	1.30830	72.141	3.1
18	1	0	3	1.30480	72.365	6.8
19	3	0	0	1.29960	72.701	1.5

20	3	0	1	1.24040	76.780	5.4
21	1	1	3	1.23740	77.000	2.5
22	3	1	0	1.23290	77.333	4.9
23	3	1	1	1.18200	81.339	5.7
24	2	2	2	1.14860	84.233	4.0
25	2	0	3	1.12890	86.054	2.5
26	3	0	2	1.10170	88.724	1.6
27	2	1	3	1.08440	90.526	6.3
28	3	2	0	1.08140	90.848	1.6
29	3	1	2	1.06020	93.198	6.5
30	3	2	1	1.04650	94.796	5.5
31	0	0	4	1.03850	95.760	0.6
32	1	0	4	1.00350	100.280	1.4
33	2	2	3	0.97690	104.094	1.6
34	4	0	0	0.97470	104.426	1.5
35	1	1	4	0.97190	104.853	2.5
36	3	2	2	0.95920	106.848	2.2
37	4	0	1	0.94900	108.524	1.1
38	3	0	3	0.94760	108.760	2.1
39	4	1	0	0.94560	109.099	1.1
40	4	1	1	0.92200	113.329	4.0
41	3	1	3	0.92080	113.556	2.0
42	3	3	0	0.91900	113.900	1.0
43	2	0	4	0.91660	114.362	1.6
44	3	3	1	0.89730	118.289	1.2
45	2	1	4	0.89230	119.373	2.2
46	4	0	2	0.88240	121.609	1.8
47	4	2	0	0.87180	124.153	2.2
48	4	1	2	0.86060	127.036	1.9
49	4	2	1	0.85320	129.067	1.9
50	3	2	3	0.85230	129.322	3.5
51	3	3	2	0.84040	132.864	1.8
52	0	0	5	0.83080	135.998	0.3
53	2	2	4	0.82950	136.445	1.4
54	1	0	5	0.81260	142.863	1.6
55	3	0	4	0.81130	143.414	1.1
56	4	2	2	0.80390	146.752	3.2

Stick Pattern



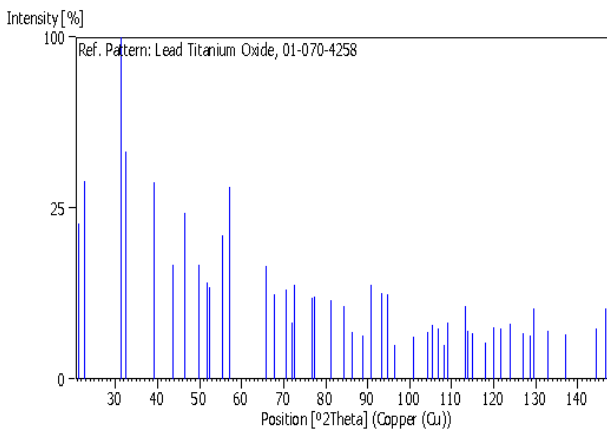
1. PDF CARD Pb (TiO₃) - 01-070-4258

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.13480	21.473	20.6
2	1	0	0	3.90390	22.760	33.4
3	1	0	1	2.83860	31.491	100.0
4	1	1	0	2.76050	32.406	44.1
5	1	1	1	2.29580	39.209	33.0
6	0	0	2	2.06740	43.751	11.1
7	2	0	0	1.95200	46.485	23.7
8	1	0	2	1.82700	49.874	11.1
9	2	0	1	1.76520	51.746	7.9
10	2	1	0	1.74590	52.362	7.2
11	1	1	2	1.65480	55.484	17.6
12	2	1	1	1.60840	57.230	31.7
13	2	0	2	1.41930	65.740	10.9
14	2	2	0	1.38020	67.850	6.2
15	2	1	2	1.33390	70.547	6.9
16	2	2	1	1.30920	72.083	2.7
17	1	0	3	1.29960	72.701	7.6
18	3	0	1	1.24130	76.714	5.7

19	3	1	0	1.23450	77.214	5.8
20	3	1	1	1.18290	81.264	5.3
21	2	2	2	1.14790	84.297	4.6
22	2	0	3	1.12590	86.340	1.9
23	3	0	2	1.10130	88.765	1.6
24	3	2	0	1.08180	90.805	7.5
25	2	1	3	1.08180	90.805	7.5
26	3	1	2	1.05990	93.232	6.4
27	3	2	1	1.04740	94.689	6.1
28	0	0	4	1.03370	96.350	0.6
29	1	0	4	0.99930	100.859	1.5
30	4	0	0	0.97600	104.229	1.9
31	2	2	3	0.97530	104.335	1.6
32	1	1	4	0.96810	105.439	2.5
33	3	2	2	0.95920	106.848	2.2
34	4	0	1	0.94990	108.373	0.9
35	4	1	0	0.94620	108.997	2.7
36	3	0	3	0.94620	108.997	2.7
37	4	1	1	0.92290	113.159	4.5
38	3	3	0	0.91960	113.785	2.0
39	3	1	3	0.91960	113.785	2.0
40	2	0	4	0.91350	114.968	1.8
41	3	3	1	0.89820	118.097	1.1
42	2	1	4	0.88950	119.992	2.3
43	4	0	2	0.88260	121.562	2.2
44	4	2	0	0.87290	123.881	2.6
45	4	1	2	0.86080	126.982	1.8
46	4	2	1	0.85410	128.814	1.6
47	3	2	3	0.85140	129.578	4.3
48	3	3	2	0.84070	132.771	2.0
49	2	2	4	0.82740	137.179	1.7
50	0	0	5	0.82740	137.179	1.7
51	1	0	5	0.80900	144.413	2.2
52	3	0	4	0.80900	144.413	2.2
53	4	2	2	0.80420	146.609	4.2

Stick Pattern



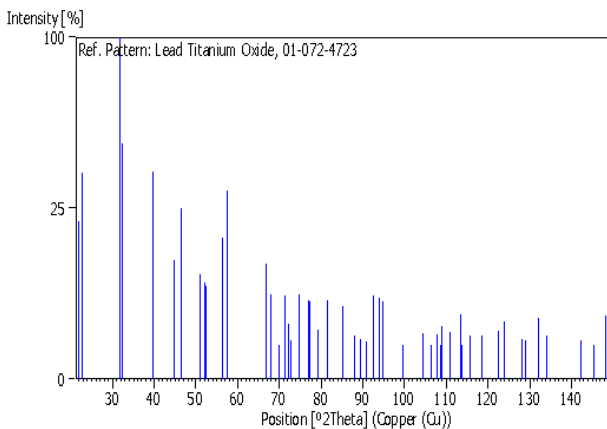
m. PDF CARD Pb (TiO₃) - 01-072-4723

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.03290	22.023	21.3
2	1	0	0	3.90230	22.769	36.5
3	1	0	1	2.80440	31.885	100.0
4	1	1	0	2.75930	32.421	47.7
5	1	1	1	2.27730	39.541	37.0
6	0	0	2	2.01640	44.917	12.1
7	2	0	0	1.95120	46.505	25.1
8	1	0	2	1.79140	50.935	9.4
9	2	0	1	1.75640	52.025	8.0
10	2	1	0	1.74520	52.384	7.4
11	1	1	2	1.62810	56.475	17.1
12	2	1	1	1.60160	57.496	30.3
13	2	0	2	1.40220	66.645	11.3
14	2	2	0	1.37970	67.878	6.1
15	0	0	3	1.34430	69.921	0.9
16	2	1	2	1.31960	71.428	5.9
17	2	2	1	1.30540	72.326	2.6
18	3	0	0	1.30080	72.623	1.3
19	1	0	3	1.27100	74.610	6.2
20	3	0	1	1.23800	76.956	5.3

21	3	1	0	1.23400	77.251	5.2
22	1	1	3	1.20850	79.197	2.1
23	3	1	1	1.18000	81.506	5.4
24	2	2	2	1.13860	85.147	4.6
25	2	0	3	1.10700	88.189	1.6
26	3	0	2	1.09310	89.610	1.4
27	3	2	0	1.08230	90.751	1.2
28	2	1	3	1.06500	92.653	5.9
29	3	1	2	1.05260	94.076	5.6
30	3	2	1	1.04530	94.939	5.2
31	0	0	4	1.00820	99.642	0.5
32	4	0	0	0.97560	104.290	1.8
33	1	0	4	0.97560	104.290	1.8
34	2	2	3	0.96280	106.272	1.0
35	3	2	2	0.95360	107.759	1.7
36	4	0	1	0.94820	108.659	1.0
37	4	1	0	0.94700	108.861	2.4
38	1	1	4	0.94700	108.861	2.4
39	3	0	3	0.93480	110.980	1.9
40	4	1	1	0.92140	113.442	3.6
41	3	3	0	0.91980	113.747	1.0
42	3	1	3	0.90910	115.843	1.6
43	3	3	1	0.89680	118.396	1.2
44	2	0	4	0.89570	118.633	1.6
45	4	0	2	0.87820	122.597	2.0
46	4	2	0	0.87260	123.955	2.8
47	2	1	4	0.87260	123.955	2.8
48	4	1	2	0.85680	128.065	1.4
49	4	2	1	0.85280	129.180	1.3
50	3	2	3	0.84300	132.061	3.2
51	3	3	2	0.83680	134.008	1.6
52	2	2	4	0.81400	142.281	1.3
53	0	0	5	0.80660	145.491	0.2
54	4	2	2	0.80080	148.272	3.5

Stick Pattern



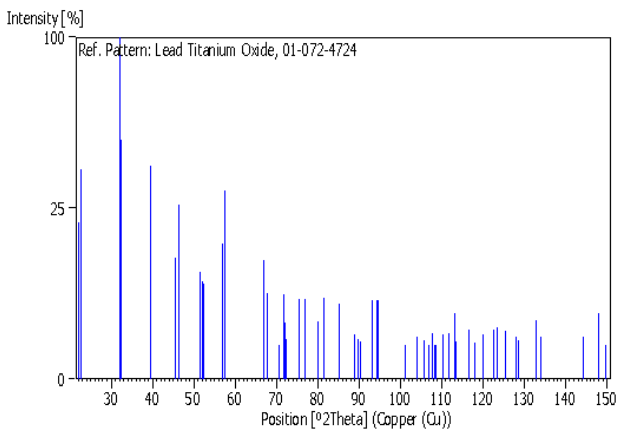
n. PDF CARD Pb (TiO₃) - 01-072-4724

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	3.99010	22.262	21.0
2	1	0	0	3.91230	22.711	37.5
3	1	0	1	2.79350	32.013	100.0
4	1	1	0	2.76640	32.335	48.9
5	1	1	1	2.27340	39.611	39.1
6	0	0	2	1.99500	45.426	12.6
7	2	0	0	1.95620	46.379	26.0
8	1	0	2	1.77730	51.368	9.8
9	2	0	1	1.75640	52.025	8.2
10	2	1	0	1.74960	52.242	7.8
11	1	1	2	1.61820	56.852	15.7
12	2	1	1	1.60240	57.464	30.6
13	2	0	2	1.39680	66.936	12.0
14	2	2	0	1.38320	67.683	6.3
15	0	0	3	1.33000	70.785	0.9
16	2	1	2	1.31540	71.691	6.1
17	2	2	1	1.30690	72.230	2.7
18	3	0	0	1.30410	72.410	1.4
19	1	0	3	1.25920	75.431	5.5

20	3	0	1	1.23960	76.838	5.5
21	3	1	0	1.23720	77.015	5.5
22	1	1	3	1.19870	79.974	2.8
23	3	1	1	1.18170	81.364	5.7
24	2	2	2	1.13670	85.323	4.8
25	2	0	3	1.09990	88.908	1.7
26	3	0	2	1.09160	89.766	1.4
27	3	2	0	1.08510	90.452	1.2
28	2	1	3	1.05880	93.358	5.4
29	3	1	2	1.05140	94.217	5.3
30	3	2	1	1.04700	94.736	5.3
31	0	0	4	0.99750	101.109	0.6
32	4	0	0	0.97810	103.914	1.5
33	1	0	4	0.96660	105.673	1.3
34	2	2	3	0.95870	106.928	1.0
35	3	2	2	0.95320	107.825	1.8
36	4	0	1	0.95000	108.357	0.9
37	4	1	0	0.94890	108.541	0.9
38	1	1	4	0.93840	110.343	1.7
39	3	0	3	0.93120	111.627	1.8
40	4	1	1	0.92310	113.122	3.7
41	3	3	0	0.92210	113.310	1.2
42	3	1	3	0.90590	116.492	2.1
43	3	3	1	0.89850	118.033	1.1
44	2	0	4	0.88870	120.171	1.7
45	4	0	2	0.87820	122.597	2.1
46	4	2	0	0.87480	123.416	2.3
47	2	1	4	0.86660	125.465	2.0
48	4	1	2	0.85690	128.038	1.5
49	4	2	1	0.85450	128.702	1.3
50	3	2	3	0.84080	132.740	3.0
51	3	3	2	0.83700	133.943	1.5
52	2	2	4	0.80910	144.369	1.5
53	4	2	2	0.80120	148.071	3.7
54	0	0	5	0.79800	149.719	0.3

Stick Pattern



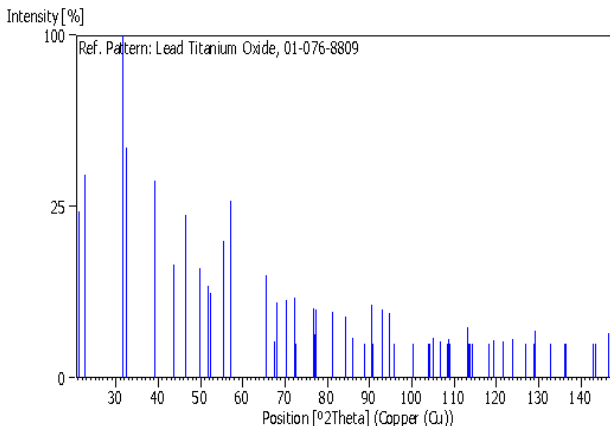
o. PDF CARD Pb (TiO₃) - 01-076-8809

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.15100	21.389	23.6
2	1	0	0	3.90100	22.777	35.2
3	1	0	1	2.84270	31.445	100.0
4	1	1	0	2.75840	32.432	45.1
5	1	1	1	2.29740	39.181	33.3
6	0	0	2	2.07550	43.572	11.0
7	2	0	0	1.95050	46.523	22.7
8	1	0	2	1.83230	49.720	10.2
9	2	0	1	1.76530	51.743	7.2
10	2	1	0	1.74460	52.404	6.2
11	1	1	2	1.65850	55.350	16.1
12	2	1	1	1.60830	57.234	26.7
13	2	0	2	1.42140	65.630	8.9
14	0	0	3	1.38370	67.655	1.1
15	2	2	0	1.37920	67.906	4.8
16	2	1	2	1.33550	70.450	5.2
17	2	2	1	1.30890	72.103	2.1
18	1	0	3	1.30410	72.410	5.5
19	3	0	0	1.30030	72.655	1.0
20	3	0	1	1.24090	76.743	4.1

21	1	1	3	1.23680	77.044	1.6
22	3	1	0	1.23360	77.281	4.0
23	3	1	1	1.18250	81.297	3.7
24	2	2	2	1.14870	84.224	3.2
25	2	0	3	1.12850	86.092	1.4
26	3	0	2	1.10190	88.704	1.0
27	2	1	3	1.08410	90.558	4.5
28	3	2	0	1.08190	90.794	0.9
29	3	1	2	1.06040	93.175	4.0
30	3	2	1	1.04700	94.736	3.6
31	0	0	4	1.03780	95.846	0.3
32	1	0	4	1.00290	100.362	0.9
33	2	2	3	0.97680	104.109	0.8
34	4	0	0	0.97520	104.350	1.0
35	1	1	4	0.97130	104.945	1.4
36	3	2	2	0.95940	106.815	1.1
37	4	0	1	0.94940	108.457	0.5
38	3	0	3	0.94760	108.760	1.3
39	4	1	0	0.94610	109.014	0.5
40	4	1	1	0.92250	113.234	2.2
41	3	1	3	0.92080	113.556	0.9
42	3	3	0	0.91950	113.804	0.6
43	2	0	4	0.91620	114.440	0.8
44	3	3	1	0.89770	118.204	0.6
45	2	1	4	0.89190	119.461	1.2
46	4	0	2	0.88270	121.539	1.1
47	4	2	0	0.87230	124.029	1.3
48	4	1	2	0.86090	126.956	0.8
49	4	2	1	0.85360	128.954	0.7
50	3	2	3	0.85230	129.322	1.9
51	3	3	2	0.84070	132.771	0.9
52	0	0	5	0.83020	136.204	0.2
53	2	2	4	0.82920	136.549	0.6
54	1	0	5	0.81200	143.116	0.8
55	3	0	4	0.81110	143.500	0.5
56	4	2	2	0.80420	146.609	1.7

Stick Pattern



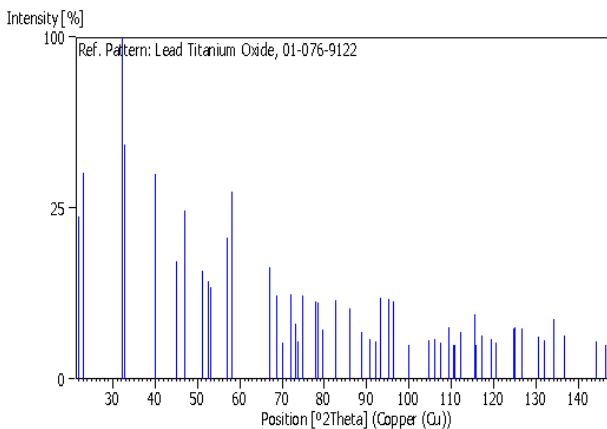
p. PDF CARD Pb (TiO₃) - 01-076-9122

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	4.02300	22.078	22.7
2	1	0	0	3.85700	23.041	36.3
3	1	0	1	2.78420	32.123	100.0
4	1	1	0	2.72730	32.812	46.9
5	1	1	1	2.25750	39.902	36.1
6	0	0	2	2.01150	45.033	11.8
7	2	0	0	1.92850	47.085	24.4
8	1	0	2	1.78350	51.177	10.1
9	2	0	1	1.73900	52.585	8.1
10	2	1	0	1.72490	53.049	7.3
11	1	1	2	1.61880	56.829	17.2
12	2	1	1	1.58530	58.143	29.9
13	2	0	2	1.39210	67.192	10.7
14	2	2	0	1.36370	68.785	5.9
15	0	0	3	1.34100	70.118	1.1
16	2	1	2	1.30940	72.071	6.1
17	2	2	1	1.29150	73.230	2.6
18	3	0	0	1.28570	73.615	1.2
19	1	0	3	1.26660	74.914	6.0

20	3	0	1	1.22460	77.956	5.1
21	3	1	0	1.21970	78.329	5.0
22	1	1	3	1.20340	79.599	2.1
23	3	1	1	1.16720	82.593	5.3
24	2	2	2	1.12870	86.073	4.3
25	2	0	3	1.10100	88.796	1.9
26	3	0	2	1.08330	90.644	1.4
27	3	2	0	1.06970	92.127	1.2
28	2	1	3	1.05870	93.370	5.7
29	3	1	2	1.04290	95.227	5.5
30	3	2	1	1.03380	96.338	5.1
31	0	0	4	1.00580	99.967	0.5
32	1	0	4	0.97320	104.654	1.3
33	4	0	0	0.96420	106.050	1.4
34	2	2	3	0.95610	107.350	1.1
35	3	2	2	0.94450	109.286	2.1
36	1	1	4	0.94360	109.440	2.3
37	4	0	1	0.93770	110.466	0.8
38	4	1	0	0.93550	110.855	0.8
39	3	0	3	0.92800	112.211	1.9
40	4	1	1	0.91120	115.423	3.6
41	3	3	0	0.90910	115.843	0.9
42	3	1	3	0.90230	117.234	1.6
43	2	0	4	0.89180	119.483	1.4
44	3	3	1	0.88670	120.622	1.1
45	4	0	2	0.86950	124.728	2.2
46	2	1	4	0.86880	124.904	2.3
47	4	2	0	0.86250	126.531	2.2
48	4	1	2	0.84820	130.504	1.5
49	4	2	1	0.84330	131.969	1.3
50	3	2	3	0.83630	134.169	3.1
51	3	3	2	0.82840	136.827	1.6
52	2	2	4	0.80940	144.237	1.2
53	0	0	5	0.80460	146.420	0.3

Stick Pattern



q. PDF CARD Ti_3O_5 - 01-082-1138

Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	1	9.43550	9.366	5.6
2	2	0	0	4.87660	18.177	3.5
3	0	0	2	4.71770	18.795	3.4
4	2	0	1	4.28530	20.711	26.0
5	1	1	0	3.54140	25.126	100.0
6	-2	0	2	3.43740	25.899	6.7
7	2	0	2	3.34590	26.620	9.8
8	-1	1	1	3.32630	26.780	9.6
9	1	1	1	3.30490	26.957	9.5
10	0	0	3	3.14520	28.353	29.1
11	-1	1	2	2.84560	31.412	4.9
12	-2	0	3	2.67620	33.457	12.8
13	2	0	3	2.61120	34.315	7.5
14	3	1	0	2.47060	36.334	2.4
15	4	0	0	2.43830	36.832	0.5
16	-3	1	1	2.40210	37.408	1.6
17	3	1	1	2.37810	37.800	12.1
18	-4	0	1	2.37810	37.800	12.1
19	0	0	4	2.36320	38.047	14.7
20	-1	1	3	2.36320	38.047	14.7

21	4	0	1	2.34550	38.345	13.4
22	-3	1	2	2.20730	40.850	2.9
23	-4	0	2	2.19040	41.179	51.7
24	3	1	2	2.17040	41.576	1.1
25	4	0	2	2.14630	42.065	0.7
26	-2	0	4	2.14630	42.065	0.7
27	2	0	4	2.10140	43.008	43.5
28	-1	1	4	1.97220	45.981	0.2
29	-4	0	3	1.95440	46.424	2.2
30	1	1	4	1.95440	46.424	2.2
31	3	1	3	1.92380	47.207	0.4
32	4	0	3	1.90040	47.824	38.0
33	0	2	0	1.90040	47.824	38.0
34	0	2	1	1.86300	48.846	0.2
35	-2	0	5	1.77610	51.406	1.1
36	2	2	0	1.77070	51.574	0.3
37	0	2	2	1.76280	51.822	0.3
38	2	0	5	1.74410	52.420	1.0
39	-2	2	1	1.74410	52.420	1.0
40	2	2	1	1.73720	52.644	3.0
41	5	1	0	1.73720	52.644	3.0
42	-3	1	4	1.72380	53.085	0.2
43	-4	0	4	1.71870	53.255	1.1
44	-5	1	1	1.71420	53.406	1.6
45	5	1	1	1.69960	53.901	1.8
46	3	1	4	1.68890	54.271	20.5
47	4	0	4	1.67220	54.858	0.4
48	-1	1	5	1.67220	54.858	0.4
49	-2	2	2	1.66310	55.184	1.4
50	1	1	5	1.65870	55.343	2.5
51	2	2	2	1.65240	55.572	2.0
52	-5	1	2	1.64160	55.970	22.3
53	6	0	0	1.62650	56.536	7.3
54	0	2	3	1.62650	56.536	7.3
55	5	1	2	1.61620	56.929	0.3
56	-6	0	1	1.60920	57.199	0.1
57	6	0	1	1.59480	57.764	1.5
58	0	0	6	1.57260	58.658	0.4
59	-6	0	2	1.54950	59.620	4.1
60	-2	2	3	1.54950	59.620	4.1
61	2	2	3	1.53650	60.177	2.5

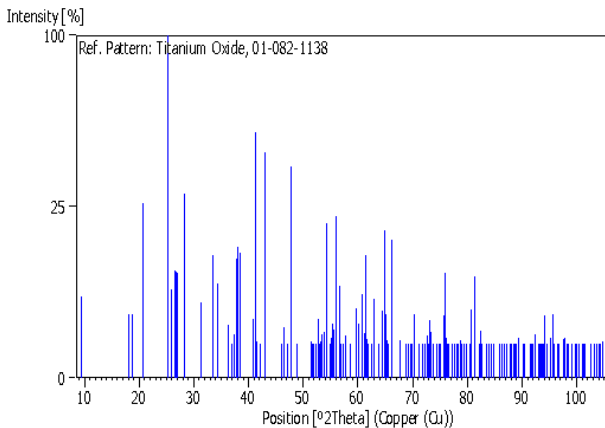
62	-5	1	3	1.53650	60.177	2.5
63	6	0	2	1.52420	60.713	5.9
64	-3	1	5	1.51470	61.135	1.7
65	-4	0	5	1.51220	61.246	1.7
66	-2	0	6	1.50860	61.408	12.8
67	5	1	3	1.50430	61.603	1.3
68	4	2	0	1.49890	61.849	0.2
69	-4	2	1	1.48500	62.493	0.8
70	3	1	5	1.48500	62.493	0.8
71	4	2	1	1.47660	62.889	5.4
72	-6	0	3	1.46020	63.678	0.1
73	-1	1	6	1.44250	64.553	3.8
74	-4	2	2	1.43540	64.911	18.5
75	1	1	6	1.43200	65.084	3.5
76	6	0	3	1.42840	65.269	1.2
77	-2	2	4	1.42280	65.558	0.5
78	4	2	2	1.42280	65.558	0.5
79	2	2	4	1.40950	66.255	16.2
80	5	1	4	1.38210	67.744	1.2
81	-4	2	3	1.36190	68.889	0.5
82	-6	0	4	1.35570	69.249	0.5
83	0	0	7	1.34790	69.707	0.3
84	4	2	3	1.34450	69.909	0.1
85	-3	1	6	1.33910	70.232	3.4
86	0	2	5	1.33910	70.232	3.4
87	6	0	4	1.32190	71.284	0.7
88	3	1	6	1.31450	71.748	0.1
89	7	1	0	1.30820	72.147	0.8
90	-2	0	7	1.30820	72.147	0.8
91	4	0	6	1.30560	72.314	0.5
92	-7	1	1	1.30030	72.655	1.5
93	-2	2	5	1.29760	72.831	0.8
94	-5	1	5	1.29300	73.132	2.8
95	7	1	1	1.29030	73.310	1.8
96	2	0	7	1.29030	73.310	1.8
97	2	2	5	1.28500	73.662	0.5
98	-4	2	4	1.27470	74.357	0.5
99	-7	1	2	1.26890	74.755	0.1
100	5	1	5	1.26240	75.206	0.5
101	1	1	7	1.25640	75.628	3.3
102	1	3	0	1.25640	75.628	3.3

103	7	1	2	1.25250	75.905	9.4
104	-6	0	5	1.24840	76.199	1.4
105	-1	3	1	1.24590	76.380	0.4
106	1	3	1	1.24480	76.459	0.4
107	6	2	0	1.23530	77.155	0.8
108	-6	2	1	1.22810	77.692	0.1
109	6	2	1	1.22160	78.184	0.9
110	8	0	0	1.21890	78.390	0.2
111	-7	1	3	1.21890	78.390	0.2
112	-1	3	2	1.21550	78.652	1.2
113	6	0	5	1.21550	78.652	1.2
114	1	3	2	1.21330	78.822	1.2
115	-8	0	1	1.21330	78.822	1.2
116	0	2	6	1.21160	78.954	0.4
117	8	0	1	1.20500	79.472	0.1
118	-6	2	2	1.20100	79.790	0.1
119	-3	1	7	1.19360	80.385	0.9
120	-4	0	7	1.19360	80.385	0.9
121	6	2	2	1.18900	80.760	4.0
122	-8	0	2	1.18900	80.760	4.0
123	-2	2	6	1.18160	81.372	8.7
124	3	3	0	1.18160	81.372	8.7
125	8	0	2	1.17270	82.122	0.6
126	-3	3	1	1.17270	82.122	0.6
127	2	2	6	1.16990	82.361	1.8
128	3	3	1	1.16990	82.361	1.8
129	-1	3	3	1.16810	82.515	1.9
130	1	3	3	1.16640	82.662	0.9
131	4	0	7	1.16640	82.662	0.9
132	-7	1	4	1.15650	83.528	0.1
133	5	1	6	1.15160	83.964	0.5
134	-3	3	2	1.14780	84.306	0.3
135	-8	0	3	1.14780	84.306	0.3
136	6	2	3	1.14180	84.852	0.7
137	3	3	2	1.14180	84.852	0.7
138	7	1	4	1.13190	85.771	0.1
139	8	0	3	1.12650	86.283	0.1
140	-1	1	8	1.12230	86.685	0.1
141	6	0	6	1.11570	87.327	0.3
142	1	1	8	1.11570	87.327	0.3
143	-1	3	4	1.11050	87.840	0.1

144	1	3	4	1.10730	88.159	0.2
145	-6	2	4	1.10370	88.522	0.4
146	3	3	3	1.10160	88.735	0.1
147	0	2	7	1.09940	88.959	0.2
148	-8	0	4	1.09520	89.391	1.4
149	-7	1	5	1.08810	90.134	0.3
150	6	2	4	1.08520	90.441	0.6
151	4	2	6	1.07610	91.422	0.4
152	-4	0	8	1.07300	91.762	1.0
153	-3	1	8	1.07300	91.762	1.0
154	8	0	4	1.07130	91.949	0.3
155	2	2	7	1.06750	92.372	1.6
156	7	1	5	1.06260	92.924	0.8
157	5	3	0	1.06260	92.924	0.8
158	-3	3	4	1.05980	93.243	0.1
159	-5	3	1	1.05760	93.496	0.2
160	3	1	8	1.05600	93.681	0.1
161	5	3	1	1.05410	93.901	0.3
162	3	3	4	1.05150	94.205	3.3
163	4	0	8	1.05150	94.205	3.3
164	0	0	9	1.04840	94.570	0.7
165	1	3	5	1.04340	95.167	1.4
166	-6	2	5	1.04340	95.167	1.4
167	9	1	0	1.04220	95.311	0.5
168	-5	3	2	1.03980	95.602	3.4
169	-8	0	5	1.03690	95.956	0.2
170	5	3	2	1.03290	96.450	0.2
171	9	1	1	1.03290	96.450	0.2
172	-2	0	9	1.03070	96.724	0.5
173	6	2	5	1.02400	97.571	1.3
174	-9	1	2	1.02400	97.571	1.3
175	-8	2	1	1.02260	97.750	1.4
176	2	0	9	1.01930	98.176	0.1
177	8	2	1	1.01760	98.397	0.1
178	-5	3	3	1.01170	99.174	0.3
179	8	0	5	1.01170	99.174	0.3
180	-1	1	9	1.00800	99.669	0.2
181	-8	2	2	1.00800	99.669	0.2
182	-3	3	5	1.00520	100.048	0.3
183	0	2	8	1.00260	100.403	0.8
184	1	1	9	1.00260	100.403	0.8

185	8	2	2	0.99800	101.039	0.4
186	3	3	5	0.99640	101.263	0.1
187	7	1	6	0.99410	101.587	0.8
188	4	2	7	0.99410	101.587	0.8
189	-5	1	8	0.98660	102.661	0.1
190	-2	2	8	0.98660	102.661	0.1
191	-1	3	6	0.98320	103.157	0.9
192	1	3	6	0.97990	103.645	0.6
193	-8	0	6	0.97640	104.169	0.2
194	10	0	0	0.97530	104.335	0.2
195	-3	1	9	0.97230	104.792	1.1
196	-4	0	9	0.97230	104.792	1.1
197	-6	0	8	0.96710	105.595	1.8
198	10	0	1	0.96710	105.595	1.8

Stick Pattern

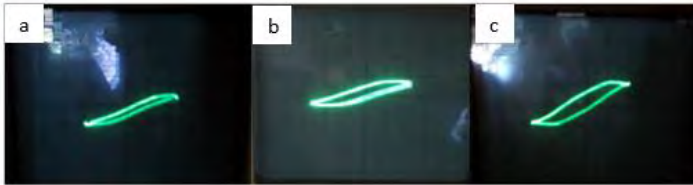


3. Kurva Hysteresis pada Pengujian Ferroelektrik

Pengujian ferroelektrik ini dilakukan di Laboratorium Fisika FMIPA, karena data kurva hysteresis tidak dapat diambil dengan digital, maka dilakukan pengambilan data dengan manual, yaitu mengambil gambar pada osiloskop dengan kamera.



Gambar 1. Kurva Histeresis pada Sampel awal PbTiO_3



Gambar 2. Kurva histeresis PbTiO_3 doping 0,1 mol MnO_2 dengan temperatur sintering (a) 800°C (b) 900°C (c) 1100°C



Gambar 3. Kurva histeresis PbTiO_3 dengan temperatur sintering 900°C dan komposisi doping MnO_2 (a) 0,1 mol (b) 0,15 mol (c) 0,2 mol

4. Tabel perhitungan nilai P_r (Polarisasi Remanen) dan E_c (Medan Koersif Linstrik) pada sampel ferroelektrik

NO	Doping (mol)	T ($^\circ\text{C}$)	V_x	V_y	E_o	d	P_r	E_c
1	0,1mol	800	0,9	8,5	$8,85 \cdot 10^{-12}$	0,00235	$3,2 \cdot 10^{-8}$	382,97

2	0,1mol	900	0,96	11,5	$8,85 \cdot 10^{-12}$	0,00235	$4,33 \cdot 10^{-8}$	408,51
3	0,15mol	900	0,98	9	$8,85 \cdot 10^{-12}$	0,00235	$3,39 \cdot 10^{-8}$	417,02
4	0,2mol	900	1	7	$8,85 \cdot 10^{-12}$	0,00235	$2,63 \cdot 10^{-8}$	425,53
5	0,1mol	1100	1	7	$8,85 \cdot 10^{-12}$	0,00235	$2,63 \cdot 10^{-8}$	425,53
6	PbTiO ₃		1	12,5	$8,85 \cdot 10^{-12}$	0,00235	$4,70 \cdot 10^{-8}$	425,53

5. Nilai Suseptibilitas Magnetik

Nilai Suseptibilitas didapatkan dari rumus

$$X_m = \{L \times (R - R_0)\} / 10^9 M$$

X_m = suseptibilitas magnet

L = tinggi sampel pada wadah (minimal 1,5 cm)

R =

R_0 = pada saat kalibrasi (-40)

M = massa sampel

Sampel	L	R	M	x_m
0,1mol 800	1,7	3120	0,3345	0,0000160597907324365
0,1mol 900	1,8	1410	0,6037	0,0000043233394069902
0,15mol 900	1,6	1420	0,343	0,0000068104956268222
0,2mol 900	2	1260	0,4481	0,0000058022762776166
0,1mol 1100	2,7	970	0,7534	0,0000036195911866207
PbTiO ₃	1,5	70	0,3274	0,0000005039706780696

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rizka Andani lahir di Tuban pada tanggal 4 April 1994, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari Bapak Murtoyo dan Ibu Sri Retno Wati. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Perumnas Banyumanik IX/X Semarang, kemudian pindah ke SDN Sawojajar 6 Malang, setelah lulus penulis melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 3 Malang, dan SMA Negeri 4 Malang. Penulis melanjutkan

pendidikan di Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS pada tahun 2011 dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2711100045 melalui alur masuk SNMPTN Undangan.

Selama kuliah penulis aktif dibidang akademik maupun non akademik. Penulis aktif di organisasi Himpunan Teknik Material dan Metalurgi (HMMT FTI-ITS) sebagai staf Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM) pada periode 2012-2013 dan sebagai Steering Committee (SC) Kaderisasi HMMT FTI-ITS pada periode 2012-2013. Penulis juga menjadi pengajar pada program HMMT Mengajar di SDN Tambak Wedi Surabaya pada tahun 2012.

Penulis pernah melakukan Kerja praktek di PT. Krakatau Steel (PERSERO) pada bulan Juli 2014 yang mempelajari tentang Analisa Karakteristik Baja API5L X52 MS di PT. Krakatau Steel (PERSERO) di Cilegon, Banten.

Selesainya tugas akhir ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Material dan FTI ITS

Email: rizkaandani45@gmail.com